

УДК 621.396

А.В. Поначугин, И.В. Гусев  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАДИОДОСТУПА В  
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ**

*Нижегородский государственный педагогический университет имени  
Козьмы Минина (Мининский университет),  
Нижний Новгород, Россия*

*В настоящее время на территории всей планеты широко используются телекоммуникационные услуги, которые в совокупности образуют мультисервисные сети связи. Проблема применения телекоммуникационных услуг заключается в том, что не на всех отдалённых участках местностей существует возможность получить доступ к сети. И с этой задачей предназначены справляться каналы и линии связи. Целью исследования является создание модели радиодоступа к ресурсам мультисервисной сети связи на канальном уровне. В качестве мультисервисной сети в рамках статьи понимается корпоративная сеть, в которой предоставляются пользователям такие телекоммуникационные услуги, как: видеоконференцсвязь, IP – телефония и передача данных. Исследуемая сеть построена на базе технологии «Ethernet», а радиолиния, при помощи которой происходит доступ, организована при помощи одной из современных технологий широкополосного беспроводного доступа. Также в статье приведены структурные схемы организации радиодоступа, описаны современные технологии радиодоступа и представлен анализ протоколов передачи данных семиуровневой модели, и впоследствии выбран протокол, на основании которого произведена разработка модели радиодоступа. В программной среде MatLab произведена реализация предложенного алгоритма радиодоступа к ресурсам мультисервисной сети на втором уровне эталонной модели взаимодействия открытых систем (канальном уровне). При проведении моделирования получены данные о загруженности канала и о числе доставленных пакетов, которые отображены в виде графиков. По результатам данного исследования можно сделать вывод о том, что данная модель служит наглядным примером исследования радиодоступа, показывающая, что результат работы модели успешен, так как пакеты с информацией передаются между источниками. Предложенная модель может быть направлена на изучение влияния стохастических и детерминированных процессов, возникающих в качестве сторонних факторов при передаче данных по радиоканалу, а также такая система при дополнении программой, определяющая положение пользователя и выбирающая оптимальный способ доступа к мультисервисной сети, будет являться совершенной системой радиодоступа.*

**Ключевые слова:** моделирование, система радиодоступа, мультисервисная сеть, технологии радиодоступа, телекоммуникационные услуги.

**Введение.** В настоящее время развитие технологий передачи информации происходит стремительными темпами. Еще несколько десятилетий назад техническим новшеством считалась связь с движущимися объектами, а сегодня технологии, такие как широкополосный беспроводной доступ в сеть «Интернет» с мобильного телефона не являются редкостью и имеют широкое распространение [1].

При помощи технологий, доступных сегодня, проектировщики могут строить распределенные системы связи для разных областей деятельности, включая опционально те или иные функции в систему путем подбора определенной конфигурации оборудования.

Унификация протоколов и стандартов позволяет говорить о простоте подбора оборудования, ведь на сегодняшний день на рынке представлено многообразие технологических решений в области связи, которые отличаются функционалом и стоимостью и взаимодействуют между собой [2]. Такие системы связи образуют собой мультисервисные сети связи, которые предоставляют пользователю три наиболее популярных сегодня телекоммуникационных сервиса – это передача голоса, видеоизображения и данных [3].

Существует огромное количество отдалённых участков местности, на которых получение полнофункциональных современных телекоммуникационных услуг может быть предоставлено только при помощи организации каналов и линий радиосвязи [4]. К таким труднодоступным местам можно отнести участки вечной мерзлоты и высокогорья. Также радиодоступ необходим для предоставления оперативных телекоммуникационных услуг, которые необходимы при организации телерадиовещания из любой точки, где происходят события, необходимые для освещения.

В статье представлено описание основного принципа радиодоступа к подобным сетям. Целью проведенного исследования является разработка модели доступа к телекоммуникационным сетям на канальном уровне. Модель доступа предлагается создать на этом уровне, так как взаимодействие различных устройств в рамках мультисервисной сети связи рассматривается на самых нижних уровнях протоколов, а на более высоких уровнях взаимодействие происходит уже за пределами ресурсов сети. Таким образом, моделирование системы радиодоступа целесообразно провести на уровне прикладного программного обеспечения узла сети и данным действием показать практическую ценность созданной модели, которая может помочь в детальном изучении различных процессов. Данную модель в сочетании с программой, определяющей местоположение адресата, можно использовать как совершенную систему для получения информации в труднодоступных местностях. Научная проблематика моделирования радиодоступа заключается в том, что при построении модели радиолинии появляется возможность исследования различных характеристик, важных для передачи данных по ней. К таким характеристикам относятся параметры спектральной эффективности, помехозащищенности, распределения ресурсов среды передачи.

**Теоретическая часть. Описание современных технологий радиодоступа.** В наше время, огромная часть систем строится на базе

технологии каналообразования - WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Данная телекоммуникационная технология была разработана с целью беспроводной привязки к сетям связи и организации радиолиний на больших расстояниях. Она основана на стандарте IEEE 802.16 («Wireless MAN») [5]. В Таблице 1 даны краткие характеристики стандартов связи технологии WiMAX.

Таблица 1 – Стандарты связи технологии WiMAX

Наименование технологии	Наименование стандарта	Информационная скорость	Радиус действия	Частотный диапазон
WiMax	802.16d	до 75 Мбит/с	25-80 км	1,5-11 ГГц
WiMax	802.16e	до 40 Мбит/с	1-5 км	2,3-13,6 ГГц

У данной технологии существуют некоторые серьёзные недостатки, которые показывают, что технология WiMAX не является совершенной:

во – первых, тот факт, что в рамках ее применения необходимо производить лицензирование, так как работа радиооборудования производится в лицензируемом спектре частот;

во – вторых, интегрированные антенны клиентских станций необходимо размещать на антенно – мачтовых устройствах для обеспечения большой высоты точки подвеса, так как в противном случае не будет выполнено условие организации прямой видимости.

Из этого следует, что применение технологии WiMAX для организации каналов связи и линий привязки к мультисервисным сетям связи имеет альтернативы. На Рисунке 1 приведена структурная схема организации радиодоступа к ресурсам мультисервисной сети при использовании оборудования стандарта WiMAX.

В данный период времени также широко используется сотовая связь, которая прошла через несколько поколений и в наше время является одним из самых основных телекоммуникационных сервисов.

В настоящее время последним поколением сотовой связи является 4G. Это четвёртое по счёту поколение, имеющее особые требования. К этому поколению относятся такие перспективные технологии, которые могут позволить осуществление передачи мобильных данных со скоростью выше 100 Мбит/с для подвижных абонентов и 1 Гбит/с — для стационарных. Главным стандартом мобильной связи 4G, в наше время, является LTE [6].

Данный стандарт достаточно часто используется для получения доступа к ресурсам мультисервисных сетей, так как он имеет большое распространение и получил достаточно мощное развитие в крупных

городах. Но всё же этот стандарт полностью нельзя отнести к совершенным технологиям радиодоступа, так как получение информации в отдалённых участках от больших городов часто происходит с помехами и зачастую возможность выхода в сеть крайне затруднена.

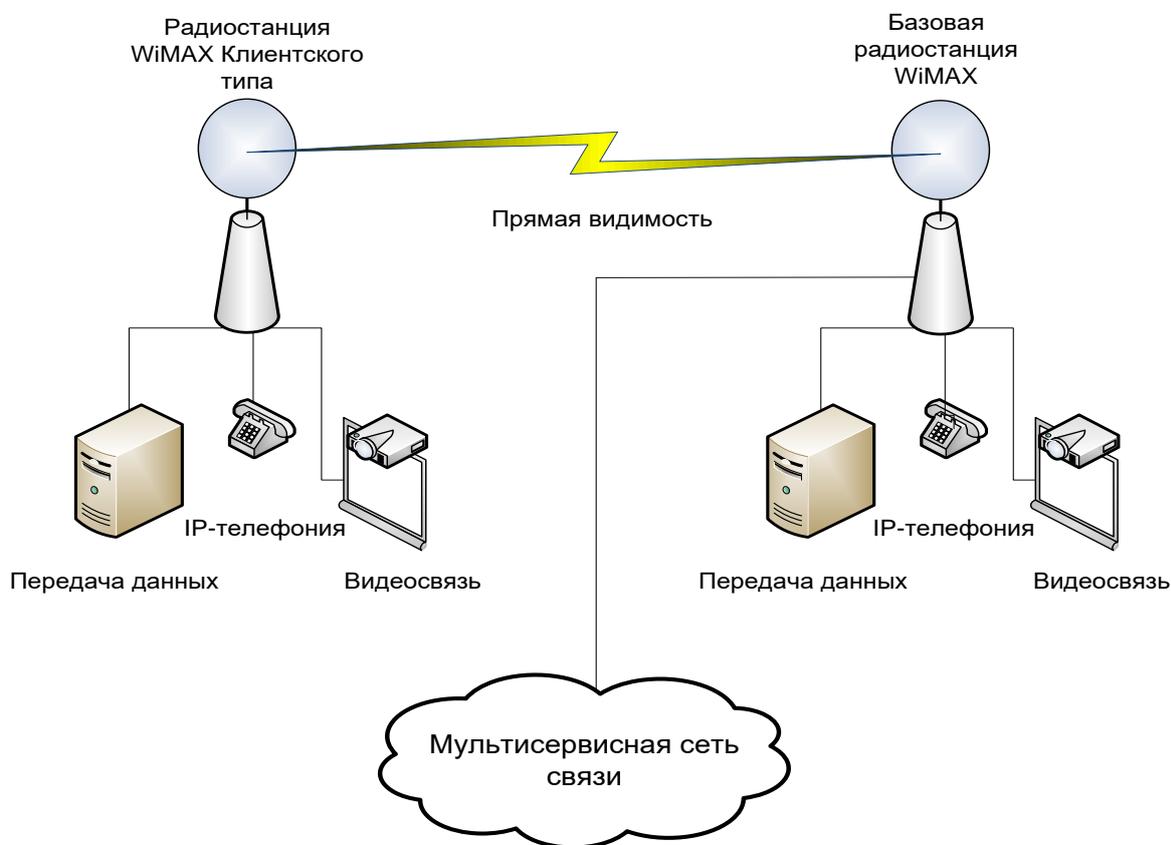


Рисунок 1 – структурная схема организации радиодоступа к ресурсам мультисервисной сети при использовании оборудования стандарта WiMAX

На Рисунке 2 изображена схема организации связи с использованием технологии LTE.

Ещё одной возможностью получения доступа к ресурсам мультисервисных сетей является вариант использования терминалов спутниковой связи типа VSAT, которые спроектированы из двух главных составляющих: OutDoorUnit — внешний блок (антенна и приемопередатчик) и InDoorUnit — внутренний блок (спутниковый модем) [7].

Принцип действия таких систем, объединённых сетью подобных терминалов, заключается в принятии сигнала спутником от станции на Земле, дальнейшем усилении этого сигнала и направлении его обратно на станцию [8]. Такой вариант доступа к ресурсам сети является идеальным

вариантом для получения информации в различных местностях, но также он является высокочрезвычайно затратным в плане финансов и его невозможно отнести к совершенным стандартам, как и предыдущие современные технологии радиодоступа. На Рисунке 3 приведена схема получения доступа к ресурсам мультисервисной сети при использовании таких систем связи.

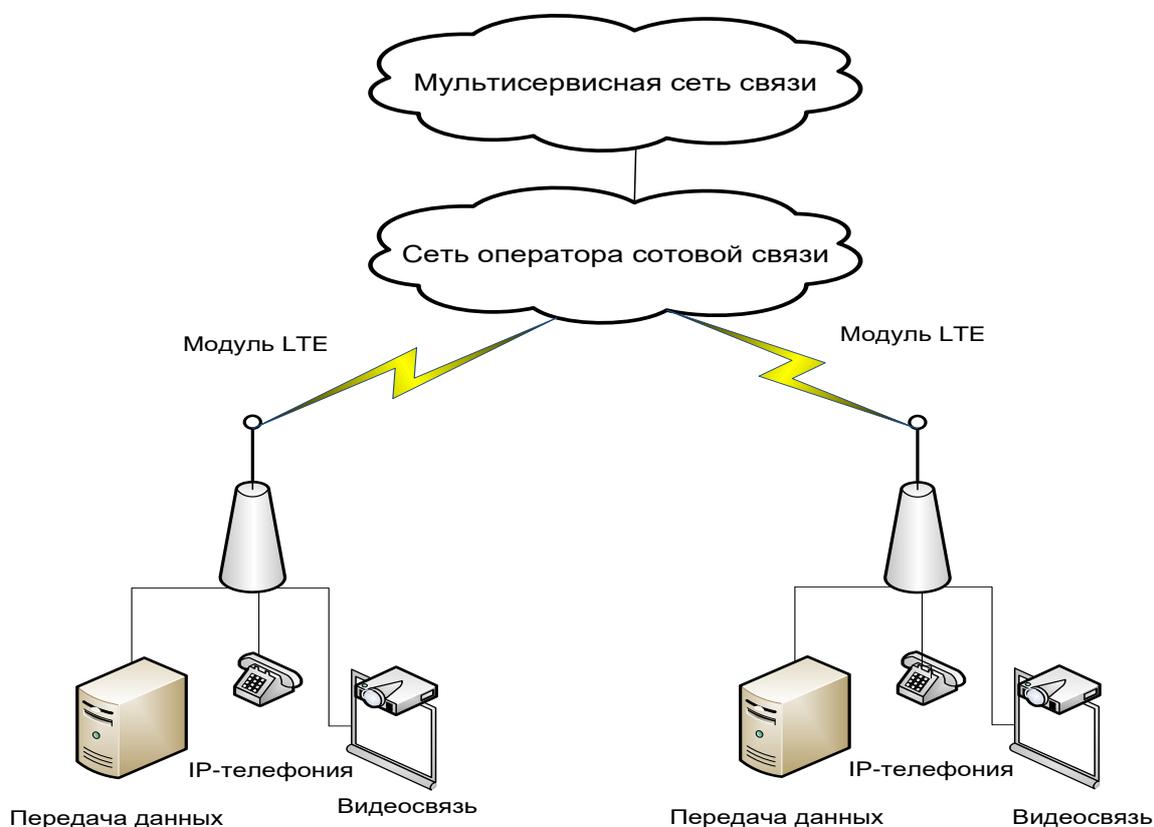


Рисунок 2 – Схема организации связи с использованием технологии LTE

**Практическая часть. Протоколы передачи данных.** Стоит отметить, что информация, циркулирующая в описанных выше мультисервисных сетях связи – это важная часть жизни современного общества. Многообразие этих данных настолько огромно, насколько значимо. Например, приложение, в результате работы которого отправляется запрос на скачивание файла и принимается файл, отличается такой характерной чертой, как несоразмерность отправленного трафика (uplink) и полученного в результате отправки запроса трафика (downlink). Также стоит отметить, что клиенты пиринговых сетей характеризуются совершенно противоположными параметрами. Отправленный трафик на порядок больше по количеству, чем принимаемый, так как пиринговые сети применяются также для распределённых вычислений. Они позволяют

в небольшие промежутки времени выполнять громоздкий объём вычислений за счет распараллеливания самого процесса вычисления. В результате колоссальная производительность определяется тем, что некоторая задача, например, получение большого файла, разбивается на огромное количество блоков, которые выполняются в одно время большим количеством пиринговых клиентов, принимающих участие в проекте. Источники трафика могут быть потокового плана, то есть когда трафик на прием и на передачу равен по своему объему. В роли таких генераторов трафика обычно выступают приложения для видеосвязи или IP-телефонии.

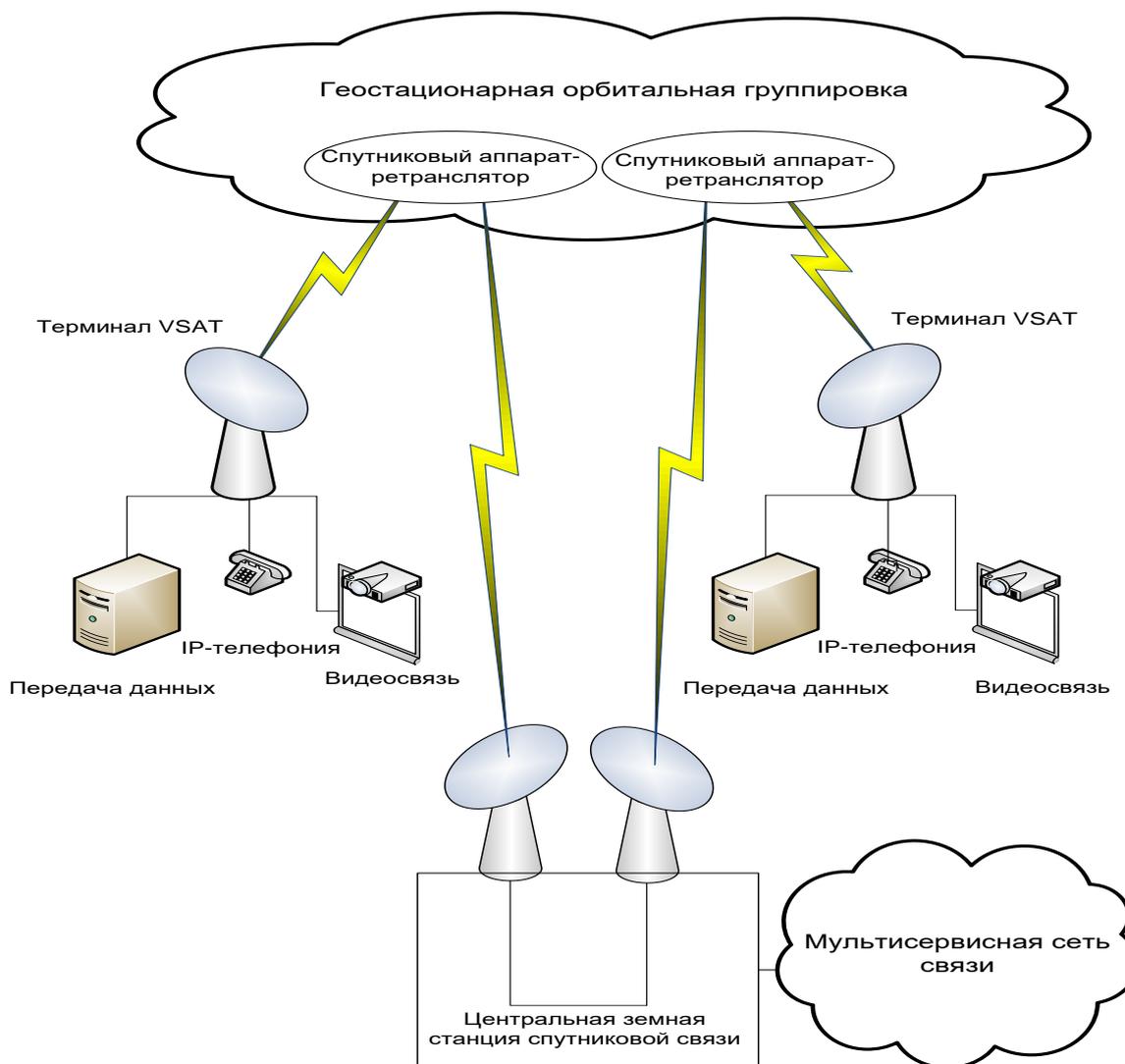


Рисунок 3 – Схема организации связи с использованием технологии VSAT

Передача файлов, обработка пользовательских запросов и прочие операции в сети Интернет и корпоративных сетях происходит в соответствии с определенными правилами, которые называются протоколы. Для полного понимания того, как осуществляется взаимодействие различных компонентов в вычислительных сетях, необходимо дать ответ на вопрос стандартизации правил данного взаимодействия. На подобные вопросы ответ может дать эталонная модель взаимодействия открытых систем. Создание совершенного стека началось в 1977 году и длилось семь лет. Данный период времени был ознаменован разработкой модели OSI. Эта модель была разработана для того, чтобы создать универсальный язык для специалистов в сетевой сфере. По модели OSI протоколы взаимодействия делятся на следующие уровни: прикладной, представительский, сеансовый, транспортный, сетевой, канальный и физический уровни, каждый из которых обладает своими собственными функциями [9]. Последние 3 уровня относятся к уровню сети, а оставшиеся являются уровнем узла.

Стоит отметить, что приложения всё же могут реализовывать свои собственные протоколы взаимодействия, при этом пользуясь многоуровневой совокупностью системных средств. По предложенной идеальной схеме OSI приложение имеет право обратиться с запросами к самому высшему уровню — прикладному, но в практических условиях большое количество стеков протоколов коммуникации имеют возможность напрямую обращаться к службам, расположенных ниже всех уровней [10]. В таком случае приложение обходит все верхние уровни и направляется к ответственным за транспортировку сообщений по сети системным средствам, которые заключены на нижних уровнях модели.

Мультисервисные сети, в наше время, в большинстве случаев строятся на базе технологии Ethernet [11]. Взаимодействие же клиентских устройств в рамках сети можно рассматривать на первых четырёх уровнях. На более высоких уровнях взаимодействие происходит уже за рамками ресурсов мультисервисной сети. Оно совершается на уровне прикладного программного обеспечения узла сети, а не сетевого адаптера.

В своём труде «Широкополосные беспроводные сети передачи информации» профессор Вишнеvский предлагает провести имитационное моделирование для обоснования работоспособности аналитической модели беспроводной сети, которая основана на цепи Маркова. Цепь Маркова с дискретным временем основывается на последовательности случайных событий с конечным или счётным числом исходов [12]. Она характеризуется тем свойством, что при фиксированном настоящем будущее независимо от прошлого. При моделировании такой аналитической модели использовались следующие основные значения: число пакетов, время поступления пакета, время его получения и значения

счётчика. Проведённое моделирование автора подтверждает работоспособность рассматриваемой им модели и полученные результаты показывают, что все пакеты передаются асинхронно, а значит, успешно.

В настоящем исследовании рассматриваются вопросы моделирования трафика, причем генераторы трафика подбираются случайным образом, так как никогда заведомо не известно, какая именно телекоммуникационная услуга будет необходима пользователю в данный конкретный момент времени. Таким образом, разрабатываемая модель должна будет учитывать предоставление доступа к ресурсам сети в зависимости от географического нахождения пользователя.

В настоящем исследовании необходимо было предложить совершенный алгоритм и провести моделирование доступа к ресурсам мультисервисной сети на канальном уровне при различных параметрах. Данная модель должна показать, что число доставленных пакетов с каждым промежутком времени увеличивается, соответственно все пакеты передаются успешно. При этом в модели задействованы вероятностные и произвольные значения, без использования заранее запланированного числа пакетов. Данный метод расчёта должен показать, как система связи ведёт себя во время перемещения пакетов по радиоканалу, а также доказать, что потери информации при передаче данных сводятся к нулю.

**Описание модели.** При моделировании радиодоступа на канальном уровне стоит понимать, что все остальные уровни инкапсулируются сверху вниз. Канальный уровень необходимо моделировать для наглядного получения представления о поведении системы связи при получении к ней радиодоступа. Моделирование было проведено в программной среде MatLab [13]. Суть подобной модели заключается в следующем: существуют 2 источника (пользователь и система радиодоступа), каждый из которых с промежутком  $\tau$  (абстрактная величина) может отсылать в сторону другого источника пакет с информацией. Вероятность того, что пакет будет выслан для каждого источника  $P_1$  и  $P_2$ . Длина линии считается равной  $L$  (измеряется в км), при этом скорость распространения сигналов меняется случайным образом: для сигналов от первого источника в диапазоне от  $V_1^{\min}$  до  $V_1^{\max}$ , для второго в диапазоне от  $V_2^{\min}$  до  $V_2^{\max}$  (все значения скорости измеряются в км/с). Когда пакет проходит путь до противоположного источника, он считается ликвидированным.

**Результаты.** При проведении моделирования задаются следующие параметры: отрезок времени  $[0, T]$  при  $T = 100$  мс,  $\tau = 1$ ,  $P_1 = 0.5$ ,  $P_2 = 0.75$ ,  $L = 100$  км,  $V_1^{\min} = 1$  км/с,  $V_1^{\max} = 2$  км/с,  $V_2^{\min} = 0.5$  км/с,  $V_2^{\max} = 1$  км/с (дискрет времени при расчете движения пакетов выбран равным 0.1). При расчёте получены следующие результаты, которые показаны на Рисунке 4 и на Рисунке 5. На Рисунке 4 показываются значения загруженности

канала пакетами – величина  $I$ , которая измеряется в пак/с (пакетов в секунду). На Рисунке 5 показывается количество всех доставленных пакетов с информацией – величины  $S_1$  и  $S_2$ . При этом при построении графиков интенсивности пакетов используется фильтрация посредством того, что приведены значения не на каждом дискрете времени, а средние значения по интервалам  $\Delta T = 4$ , чтобы видеть динамику процесса, а не постоянные скачки.

По графикам видно, что моделирование прошло успешно. Канал в любой промежуток времени имеет различную загруженность пакетами, которые высчитываются при помощи произвольной вероятности передачи пакетов и скорости распространения сигналов, и таким образом, во время передачи пакетов значения переданных пакетов меняется каждую секунду. На следующем графике показано, что число доставленных пакетов от одного источника другому и передача пакетов в противоположном направлении с каждым промежутком времени становится больше, тем самым доказывая, что передаваемые пакеты доходят до адресатов.

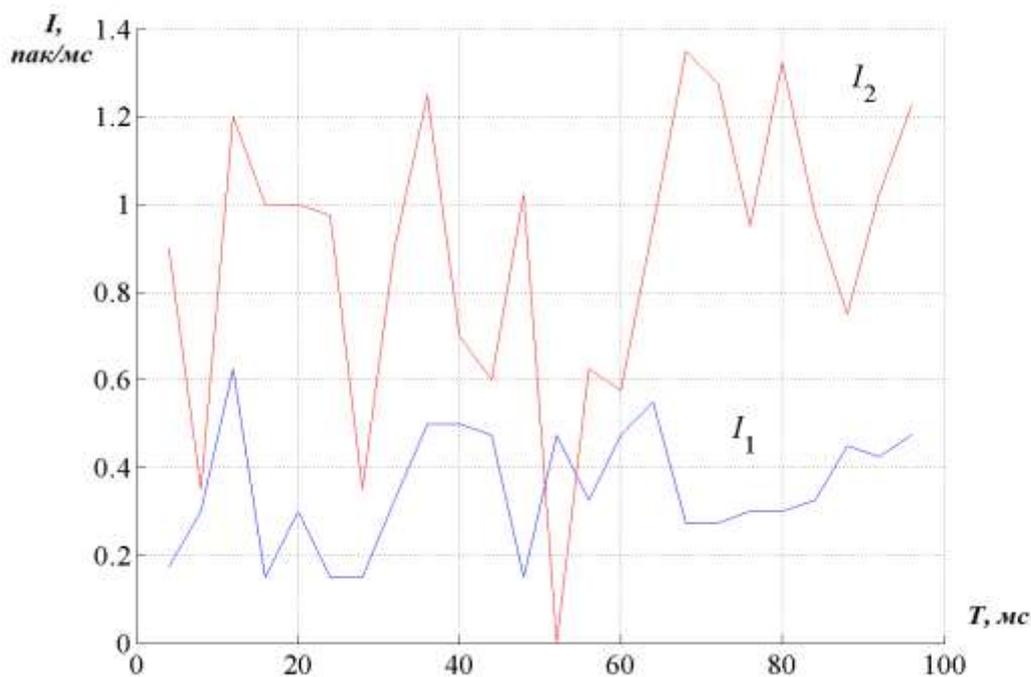


Рисунок 4. График загрузки канала пакетами

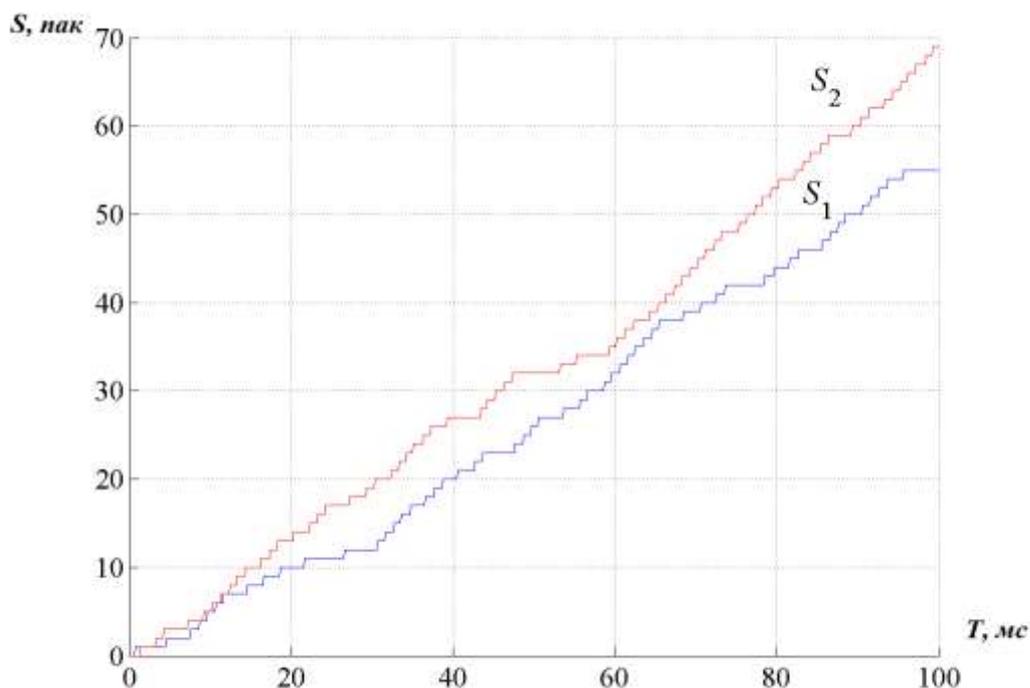


Рисунок 5. График числа доставленных пакетов

**Выводы.** В рамках настоящей статьи были рассмотрены аспекты радиодоступа к мультисервисным сетям, и была построена модель доступа к ресурсам мультисервисной сети по радиоканалу произвольной скорости. Данная модель имеет перспективу развития, ведь если дополнить ее данными о других уровнях и снять статистические показатели, она будет полноценным эмулятором. Подобные модели имеют практическую ценность, они направлены на изучение влияния стохастических и детерминированных процессов, возникающих в качестве сторонних факторов при передаче данных по радиоканалу. Предложенная модель служит стимулом для создания программных платформ, которые позволяют проводить анализ систем радиодоступа к сетям передачи данных на системном уровне. Такое программное обеспечение относится к классу «System Level Simulation – SLS». Подобные системы являются основой для изучения теоретических особенностей при разработке инновационных систем беспроводного радиодоступа, так как при помощи них появляется возможность моделирования множества параметров, благодаря которым становится возможным создание новых систем радиосвязи. Также такая система при дополнении программой, которая будет определять местоположение пользователя и выбирать оптимальный способ доступа к мультисервисной сети, будет являться совершенной системой радиодоступа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Илалтдинова Е.Ю. Типология электронных сервисов в открытом образовательном пространстве / Е.Ю. Илалтдинова, А.А. Фёдоров, И.Ф. Фильченкова // Вестник Мининского университета. 2017. №2.
2. Хант К. TCP/IP. Сетевое администрирование / К.Хант // 3-е изд. — СПб.: Символ-плюс. 2008. С. 65-66.
3. Мультисервисные сети [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://compress.ru/article.aspx?id=9404> (дата обращения: 08.02.18)
4. Сети передачи данных и технологии построения сетей [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: [https://optikcable.ru/poleznaya-informaciya/seti\\_peredachi\\_dannykh\\_i\\_tekhnologii\\_postroeniya\\_setey/](https://optikcable.ru/poleznaya-informaciya/seti_peredachi_dannykh_i_tekhnologii_postroeniya_setey/) (дата обращения: 17.02.18)
5. Технология WiMAX: текущее состояние [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: [http://www.thg.ru/network/wimax\\_2007/index.html](http://www.thg.ru/network/wimax_2007/index.html) (дата обращения: 14.02.18)
6. Что такое 4G LTE: разновидности и особенности стандарта связи четвёртого поколения [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://kubaninternet.ru/chto-takoe-4g-lte.html> (дата обращения: 14.02.18)
7. Станции VSAT [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: [http://www.invisat.ru/sputnik\\_internet/descsystem/](http://www.invisat.ru/sputnik_internet/descsystem/) (дата обращения: 14.02.18)
8. Олифер В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н. Олифер // Учебник для вузов. 5-е изд. — СПб.: Питер. 2016. С. 247-256.
9. Сетевые модели. Часть 1. OSI [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: [http://infocisco.ru/network\\_model\\_osi.html](http://infocisco.ru/network_model_osi.html) (дата обращения: 11.02.18)
10. Сергеев А.Н. Основы локальных компьютерных сетей / А.Н. Сергеев // Учебное пособие. СПб.: Лань. 2016. С. 19-23.
11. Смирнова Е.В. Технологии современных сетей Ethernet. Методы коммутации и управления потоками данных / Е.В. Смирнова, П.В. Козик // СПб.: БХВ-Петербург. 2013. С. 115.
12. Вишневецкий В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович // Москва: Техносфера. 2005. С. 348-356.
13. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB / А.И. Солонина, Д.М. Клионский, Т.В. Меркучева, С.Н. Перов // СПб.: БХВ-Петербург. 2013. С. 96-101.

A.V. Ponachugin, I.V. Gusev

## MODELING OF THE RADIO-DYNAMIC SYSTEM IN MULTI-SERVICE COMMUNICATION NETWORKS

*Nizhny Novgorod State Pedagogical University named Kozma Minin  
(Minin University), Nizhny Novgorod, Russia*

*Telecommunications services are now widely used throughout the world. These services in the aggregate of individual multi-service networks. The problem of using telecommunications services is that it is not at all remote sites. And with this you can translate channels and communication lines. The purpose of the study is to create a radio access model to the resources of a multiservice communication network at the channel level. As a multiservice network, which provides such telecommunications services as: videoconferencing, IP telephony and data transmission. The network under investigation is built on the basis of the "Ethernet" technology, and a radio link using access, organized using one of the modern technologies of broadband wireless access. The received data presented on the site are presented in the following edition: In the MatLab software environment, the proposed radio access algorithm to the resources of the multiservice network at the second level of the reference model of the interaction of open systems (the channel level) is implemented. During the simulation, data were received on the load of the channel and on the number of delivered packets, which were displayed in the form of graphs. Based on the results of this study, it can be concluded that this model serves as an illustrative example of radio access research, showing that the result of the work, both successful and information packets are transferred between sources. The proposed model is of practical value, it is aimed at studying the influence of stochastic and deterministic processes that arise as third-party factors in the transmission of data over a radio channel, and also such a system, provided the radio access system.*

**Keywords:** modeling, radio access system, multiservice network, radio access technologies, telecommunication services.

### REFERENCES

1. Ilaltdinova E.Yu. Tipologiya elektronnykh servisov v otkrytom obrazovatel'nom prostranstve / E.Yu. Ilaltdinova, A.A. Fedorov, I.F. Fil'chenkova // Vestnik Mininskogo universiteta. 2017. No. 2.
2. Khant K. TCP/IP. Setevoe administrirovanie / K.Khant // 3-e izd. — SPb.: Simvol-plyus. 2008. pp. 65-66.
3. Mul'tiservisnye seti [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa. - URL: <http://compress.ru/article.aspx?id=9404> (data obrashcheniya: 08.02.18)
4. Seti peredachi dannykh i tekhnologii postroeniya setey [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa. - URL: [https://optikcable.ru/poleznaya-informaciya/seti\\_peredachi\\_dannykh\\_i\\_tekhnologii\\_postroeniya\\_setey/](https://optikcable.ru/poleznaya-informaciya/seti_peredachi_dannykh_i_tekhnologii_postroeniya_setey/) (data obrashcheniya: 17.02.18)
5. Tekhnologiya WiMAX: tekushchee sostoyanie [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa. - URL: [http://www.thg.ru/network/wimax\\_2007/index.html](http://www.thg.ru/network/wimax_2007/index.html) (data obrashcheniya: 14.02.18)

6. Chto takoe 4G LTE: raznovidnosti i osobennosti standarta svyazi chetvertogo pokoleniya [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa. - URL: <http://kubaninternet.ru/chto-takoe-4g-lte.html> (data obrashcheniya: 14.02.18)
7. Ctantsii VSAT [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa. - URL: [http://www.invisat.ru/sputnik\\_internet/descsystem/](http://www.invisat.ru/sputnik_internet/descsystem/) (data obrashcheniya: 14.02.18)
8. Olifer V. Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly / V. Olifer, N. Olifer // Uchebnik dlya vuzov. 5-e izd. — SPb.: Piter. 2016. pp. 247-256.
9. Setevye modeli. Chast' 1. OSI [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa. - URL: [http://infocisco.ru/network\\_model\\_osi.html](http://infocisco.ru/network_model_osi.html) (data obrashcheniya: 11.02.18)
10. Sergeev A.N. Osnovy lokal'nykh komp'yuternykh setey / A.N. Sergeev // Uchebnoe posobie. SPb.: Lan'. 2016. pp. 19-23.
11. Smirnova E.V. Tekhnologii sovremennykh setey Ethernet. Metody kommutatsii i upravleniya potokami dannykh / E.V. Smirnova, P.V. Kozik // SPb.: BKhV-Peterburg. 2013. pp. 115.
12. Vishnevskiy V.M. Shirokopolosnye besprovodnye seti peredachi informatsii / V.M. Vishnevskiy, A.I. Lyakhov, S.L. Portnoy, I.V. Shakhnovich // Moskva: Tekhnosfera. 2005. pp. 348-356.
13. Solonina A.I. Tsifrovaya obrabotka signalov. Modelirovanie v MATLAB / A.I. Solonina, D.M. Klionskiy, T.V. Merkucheva, S.N. Perov // SPb.: BKhV-Peterburg. 2013. pp. 96-101.