УДК 004.732

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ WI-FI

Киренберг А.Г., Славолюбова Я.В.

Кемеровский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», Кемерово, e-mail: ag-k@yandex.ru, jar1984@mail.ru

Настоящая статья посвящена проблематике практической эксплуатации беспроводных сетей передачи данных, к которым относится в т.ч. и технология Wi-Fi. Важными аспектами эксплуатации данных сетей являются не только вопросы их построения и настройки, но и мониторинг их работы. Описанный в статье метод относится к экспресс-методам ориентировочной оценки скорости работы беспроводного канала, суть которого заключается в определении зависимости скорости работы беспроводного канала от времени открытия веб-страниц в браузере. В ходе проведенного исследования такая зависимость была установлена на основе комплексного использования методов компьютерной алгебры, вычислительной математики и теории корреляционно-регрессионного анализа. Результаты исследования могут быть полезны при ориентировочной экспресс-оценке скорости интернет-соединения, особенно в беспроводных сетях, имеющих нестабильные скоростные характеристики – Wi-Fi. 3G, 4G (LTE) и другие беспроводные технологии.

Ключевые слова: беспроводная сеть, Wi-Fi, качество интернет-соединения, качество работы беспроводных сетей Wi-Fi, система компьютерной математики Maple

PRELIMINARY ASSESSMENT DATA RATE WIRELESS NETWORKS WI-FI

Kirenberg A.G., Slavolyubova Ya.V.

Kemerovo institute (branch) of Plekhanov Russian University of Economic, Kemerovo, e-mail: ag-k@yandex.ru, jar1984@mail.ru

This article is devoted to problems of practical operation of wireless data networks, which include including and Wi-Fi technology. Important aspects of the operation of these networks are not just questions of their construction and configuration, and monitoring of their work. Described in article refers to a method of rapid assessment methods for the estimated speed of the wireless channel-la, the essence of which is to determine the dependence of the wireless channel speed from the time of opening web pages in the browser. In the course of the study, this dependence has been established based on the integrated use of computer algebra methods, computational mathematics and the theory of correlation and regression analysis. The results can be useful to, when an estimated rapid assessment of your Internet connection speed, especially in wireless networks that are unstable speed characteristics – Wi-Fi. 3G, 4G (LTE), and other wireless technologies.

Keywords: WLAN, Wi-Fi, the quality of the Internet connection, the quality of the wireless se-children Wi-Fi, a system of computer mathematics Maple

Беспроводные сети широкополосного доступа к интернету для многих жителей малоэтажных жилых застроек являются практической панацеей, поскольку проводной канал либо в принципе невозможно провести до подобных жилых массивов, либо его стоимость просто «неподъемна» для частных клиентов [6]. На данный момент в России используются в основном следующие технологии беспроводного доступа к сети Интернет: 3/4G/LTE (CDMA), Wi-Fi IEEE 802.11 g/n (CSMA), WiMax IEEE 802.16 (TDMA). В скобках указаны стандарты доступа к среде передачи данных. Все они имеют свои плюсы и минусы, но идеальной, пожалуй, нельзя назвать ни одну из них.

Так, например, сети 3/4G хоть и имеют самый большой радиус покрытия, в то же время иногда могут иметь «мертвые» зоны радиоэфира, где качество даже голосовой связи очень низкое. Также при чрезмерно большом количестве абонентов какой-либо базовой станции или в час пик такие сети могут не справляться с трафиками передачи данных, поскольку приоритетным в них все-таки является голосовой трафик [7].

Уличные сети Wi-Fi (рис. 1) являются дешевым и быстрым вариантом построения беспроводных каналов, однако данная дешевизна влечет за собой такие недостатки, как нестабильное и не всегда прогнозируемое качество связи вследствие помех, повышенного трафика со стороны клиента, а иногда даже и монополизации беспроводного канала каким-либо клиентом.

Количество клиентов одной базовой станции в десятки и сотни раз меньше, чем у сетей 3/4G. Все вышеперечисленные недостатки объясняются прежде всего тем, что сама технология Wi-Fi разрабатывалась для использования внутри помещений, где условия работы во многом отличаются от уличных (влияние помех, расстояния от клиентов до точки доступа, характер препятствий и отражений, вызывающих не-

гативную интерференцию и «замирание» сигнала). В некоторых случаях все же возможно построить удовлетворительный канал связи с приемлемой скоростью приема / передачи данных благодаря грамотному выбору антенн, клиентских и базовых устройств, использующих проприетарные поллинговые протоколы обслуживания абонентов, а также тщательной настройке и размещению всего оборудования [5].

Рис. 1. Уличная сеть Wi-Fi для стационарных клиентов

Из трех вышеперечисленных сети WiMax имеют наиболее удачный протокол доступа к среде передачи данных, что позволяет построить весьма качественные надежные каналы связи в отличие от технологий 3/4G и Wi-Fi. Это объясняется прежде всего тем, что данная технология изначально проектировалась для работы на больших (десятки километров) расстояниях в условиях широкополосных помех, при наличии препятствий с частично или полностью перекрытой зоной Френеля и при большом (десятки и сотни) количестве абонентов, подключаемых к базовой станции [2]. Данная технология во многом лишена тех недостатков, которые характерны для первых двух, однако следует заметить, что стоимость оборудования базовой станции для таких систем как минимум в 10–20 раз больше подобного оборудования систем Wi-Fi [8]. Кроме того, вопросы лицензирования и использования частот оборудованием WiMax контролируются более жестко, чем для оборудования Wi-Fi.

Можно долго и подробно рассматривать преимущества и недостатки всех трех вышеуказанных технологий построения беспроводных сетей, но всех их объединяет одно общее свойство. Какими бы надежными ни были бы такие сети, ни одна из них не может гарантировать 100 % качество и стабильные скоростные характеристики в любой момент времени по сравнению с качественно построенными проводными сетями, где среда передачи является полностью изолированной от радиоэфира. Это значит, что для любых беспроводных сетей вопросы мониторинга скорости передачи данных и качества канала являются более актуальными, чем для проводных сетей. Хотя справедливости ради следует заметить, что для физически устаревших или некачественно построенных проводных сетей мониторинг скорости и качества канала связи также является актуальным.

Если проанализировать, из каких характеристик складывается качество работы беспроводной сети, то можно составить следующий список [2]:

– пропускная способность (Throughput) на Ethernet и Wireless интерфейсах, обычно в Мбит/с или Кбит/с). Данный параметр может измеряться как с помощью специальных программ, так и с помощью встроенного в веб-интерфейс программного средства клиентского оборудования или базовой станции (рис. 2).

На графиках показываются раздельно кривые скоростей приема данных и передачи, они обозначаются Tx (transmit) и Rx (receive). Данный параметр правильнее будет трактовать как объем текущего трафика в сторону приема / передачи данных и особого интереса для рядового пользователя вряд ли представляет. В данном случае видно, что объем данных на прием и передачу примерно одинаков, о чем свидетельствует приблизительно одинаковая высота кривых над осью X:

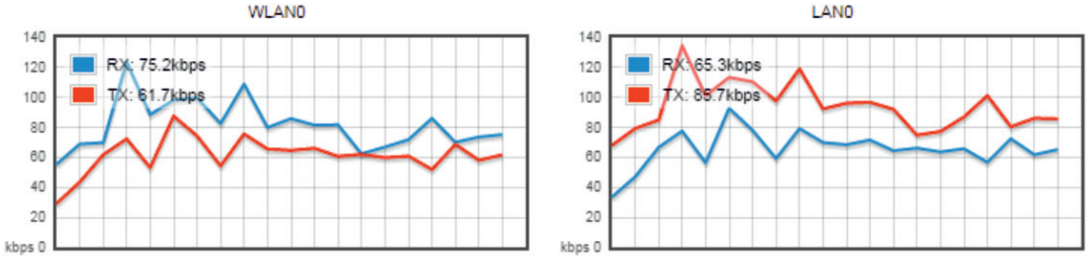

Рис. 2. Текущая пропускная способность проводного и беспроводного сегментов сети

– скорость интернет-соединения – для большинства пользователей именно этот параметр наиболее важен, поскольку он более близок к реалиям, чем предыдущий. Хотя следует учесть, что он не отражает скорость передачи данных по протоколам, например, FTP или P2P, а значит, скорость закачки файла может быть как больше, так и меньше значений, показанных в ходе онлайнового тестирования. Пропускная способность устройств Wi-Fi также сильно зависит от длины пакетов данных. Например, на пакетах длиной 64 байт (голосовой UDP трафик) она может быть в десяток раз меньше, чем максимальная пропускная способность на трафике копирования файлов FTP с длиной пакетов 1500 байт. В качестве онлайновых средств наиболее часто используются такие ресурсы, как http://www.speedtest.net или http://2ip.ru. Последний из них наиболее информативен и интересен, т.к. позволяет не только оценить скорость интернет-соединения, но и оценить время загрузки файла, зная его объем и скорость соединения;

– пакетная производительность оборудования (пакетов в секунду, pps), определяющая максимальное количество пакетов в секунду, которое устройство может пропустить через свои wireless и Ethernet интерфейс. Данный параметр косвенно также влияет на скорость канала связи, однако интересен он в первую очередь на стадии выбора оборудования для построения беспроводной сети;

– задержка пакетов данных (delay, мс). Также оказывает влияние на пропускную способность канала. Например, для стандартной проводной сети Ethernet типовое время задержки пакета составляет около 1 мс, в то время как для беспроводных сетей допускается в несколько раз больше. Чрезмерно большие задержки приводят к кратковременным остановкам потокового он-лайн видео / ТВ или при мультимедийном общении через Skype. В реальных условиях данный показатель более ярко выражен именно в беспроводных сетях;

– колебание задержки пакетов данных (jitter, мс). Этот параметр наряду с предыдущим оказывает влияние на пропускную способность канала. В идеале его значение должно быть равно нулю. Работа беспроводной сети осложняется даже не столько его большими значениями, а именно самим фактом его наличия, что не позволяет получить стабильные прогнозируемые характеристики работы сети. На практике этот параметр особенно характерен для беспроводных сетей. Внешние проявления при этом такие же, как и для предыдущего параметра;

– Ping (мс) – одно из основных диагностических средств в сетях TCP / IP, которое есть во всех современных сетевых операционных системах. Часто его называют «эхо-запрос – эхо-ответ». Функциональность ping также реализована в некоторых встроенных ОС маршрутизаторов. Популярность данного средства обусловлена его широкой распространенностью и простотой использования. Работа данной диагностической утилиты реализована на основе ICMP-протокола. В простейшем случае величина ping – чем меньше, тем лучше. Проводные сети обычно способны обеспечить более стабильные и меньшие показатели этого параметра. Особенно критичны к этому показателю сетевые игры и приложения. Этот показатель тесно связан с двумя предыдущими показателями;

– битовая ошибка, BER. Поскольку для измерения значения BER необходимо использовать специализированное оборудование, то на практике обычно применяют производные от BER параметры качества канала связи такие, как, например, процент потерянных пакетов (lost data, %). Данный показатель в принципе может встречаться и в работе проводных сетей, причем это может обуславливаться не только качеством линий связи (провода, коннекторы), но и сетевым оборудованием – коммутаторы, маршрутизаторы. Но все-таки наиболее часто этот показатель учитывается именно в беспроводных сетях, где причиной этому чаще всего является качество радиоэфира, на который повлиять гораздо сложнее, а иногда и вовсе невозможно.

– CCQ (Client Connection Quality), Rx/Tx, % – многие специалисты скептически относятся к этому параметру. Он показывает скорость прокачки данных на прием / передачу, но не в бит/с, а в % от максимально возможной скорости канала. Например, максимально возможная скорость канала 10 Мбит/с на прием, а параметр CCQ = 50 %, т.е. в данном случае скорость приема данных составит примерно 5 Мбит/с. На практике реальные значения могут отличаться, причем чаще всего в меньшую сторону.

– дальность (км) – последний параметр, о котором стоит упомянуть в данной статье. Его влияние объясняется законами физики распространения радиоволн. В общем случае чем больше дальность, тем сильнее затухание радиосигнала и тем дольше будет передаваться информация от базовой станции к приемнику, равно как и наоборот.

Для оценки зависимости времени открытия веб-страниц от скорости интернет-соединения был проведен эксперимент. Источником Wi-Fi был обычный бытовой

роутер с точкой доступа стандарта N. В качестве клиентского устройства использовался ноутбук с браузером Mozilla Firefox с версией актуальной на момент написания статьи. Скорость интернет-соединения ограничивалась препятствиями в виде стен в помещении, а также мощностью радиосигнала точки доступа. В результате проведенных экспериментов были получены данные по времени открытия страницы сайта t (в секундах) в зависимости от входящей скорости (исходящей скорости) интернета v (в Мбит/с). Объем выборки экспериментальных данных $n = 50$. К примеру, при входящей скорости $v \approx 7{,}3$ Мбит/с (исходящей скорости $v \approx 5{,}5$ Мбит/с) время открытия страницы $t \approx 3{,}5$ с; при $v \approx 1{,}74$ ($v \approx 2{,}96$) $t \approx 7{,}66$ с; при $v \approx 8{,}86$ ($v \approx 5{,}57$) $t \approx 3$ с и при $v \approx 9{,}27$ ($v \approx 6{,}25$) $t \approx 2{,}87$ с.

Как известно, моделирование, как один из основных способов научного познания, также называют вычислительным экспериментом; и базируется он на трех понятиях: модель – алгоритм – программа. Использование компьютера при моделировании возможно по трем направлениям: инструментальное (построение фундамента знаний с целью преобразования его в алгоритм и программу); вычислительное (проведение прямых расчетов по программе); диалоговое (непосредственное поддержание интерфейса между компьютером и пользователем).

В качестве вычислительной системы целесообразно использовать такие популярные системы аналитических вычислений, как *Maple*, *MathCad*, *Mathematica*, *Derive, MatLab*. Перечисленные системы повсеместно используются в самых различных областях науки [3, 4]. Как правило, эти системы содержат процедуры для аналитических и численных расчетов, средства для программирования, представления и визуализации результатов. Совмещая в одной оболочке многофункциональный набор инструментов, системы компьютерной математики позволяют решать масштабные научные задачи. Немаловажным фактором для успешного применения систем компьютерной алгебры остается правильный выбор модели соответствующей задачи. Вычислительная система при решении задачи служит экспериментальной базой, позволяет не только численно, но и визуально оценить исследуемые показатели, проверить возникающие гипотезы и даже выступать в качестве доказательства [9, 10].

Построим модель зависимости времени открытия страницы сайта от входящей скорости интернета на основе комплексного использования методов компьютерной алгебры, вычислительной математики и теории корреляционно-регрессионного анализа.

Одним из самых распространенных в вычислительной практике является кубический сплайн [1]. Кубический сплайн используется как инструмент решения многих прикладных задач. Поставим задачу построения кубического интерполяционного сплайна следующим образом. На отрезке $[a, b]$ определим функцию $S(v)$, удовлетворяющую требованиям:

1) $S(v)$ непрерывна вместе со своими производными до второго порядка включительно;

2) на каждом отрезке $[v_{i-1}, v_i]$ ($i = 1,\ldots,N$) функция $S(v) = S_i(v)$ является кубическим многочленом вида

$$S_i(v) = a_i + b_i(v_i - v) + \frac{1}{2}c_i(v_i - v)^2 + \frac{1}{6}d_i(v_i - v)^3;$$

3) в узлах сетки значение сплайна и значение функции совпадают: $S(v_i) = t(v_i)$ ($i = 0,\ldots,N$);

4) $S(v)$ удовлетворяет условиям

$$S''(a) = S''(b) = 0.$$

В качестве узлов интерполирования v_i ($i = 1,\ldots,N$) возьмем точки, имеющие наименьшую погрешность измерения.

В результате компьютерного исследования в системе компьютерной математики *Maple* на отрезке [1,74; 7,3] при $i = 1$ получили

$$S_1(v) = \frac{4666723375}{829078871244}v^3 - \frac{16240197345}{552719247496}v^2 - \frac{14443926180779}{16581577424880}v + \frac{510435636862569}{55271924749600}; \quad (1)$$

на отрезке [7,3; 8,86] при $i = 2$ получили

$$S_2(v) = -\frac{2128094375}{77539750548}v^3 + \frac{35923570185}{51693167032}v^2 - \frac{9550764620093}{1550795010960}v + \frac{114248834666223}{5169316703200}; \quad (2)$$

на отрезке [8,86; 9,27] при $i = 3$ получили

$$S_3(v) = \frac{1717559750}{61137111009}v^3 - \frac{31843557765}{40758074006}v^2 + \frac{8462220225827}{1222742220180}v - \frac{42098595875459}{2547379625375}. \quad (3)$$

Таким образом, на отрезке [1,74; 9,27] построена функция $S(v) = S_i(v)$ так, что на каждом отрезке $[v_{i-1}, v_i]$ ($i = 1, 2, 3$) эта функция является многочленом третьей степени. Точки сплайна могут использоваться как дополнительная информация по характеристикам сети Wi-Fi.

Для построения функции $t(v)$ можно использовать интерполяционный многочлен Лагранжа не выше n-й степени. Однако при большом количестве экспериментальных точек он имеет большой порядок и в связи с этим очень неудобен в вычислениях. Кроме того, не исключено, что искомая зависимость на разных диапазонах параметра v может быть разной.

Ограничимся оптимальным количеством узлов интерполирования v_i ($i = 1,\ldots,4$), т.е. выберем точки с минимальной погрешностью измерения. В результате использования системы компьютерной математики *Maple* получен следующий вид интерполяционного многочлена Лагранжа не выше степени 3:

$$L_3(v) = -\frac{2525305625}{326040810121}v^3 + \frac{777453530725}{3912489721452}v^2 - \frac{7863963347443}{3912489721452}v + \frac{276391930859521}{26083264809680}.$$

В большинстве случаев при обработке экспериментальных данных для поиска функциональной зависимости между значениями измеряемой величины и значением некоторого параметра t (время, температура и др.) предполагается, что зависимость линейная, в то же время чаще всего эта зависимость нелинейная. В нашем случае в результате проведенного корреляционно-регрессионного анализа получено следующее эмпирическое нелинейное уравнение регрессии:

$$t = 9,53611e^{-0,1317v}. \quad (4)$$

Отобразим полученные модели зависимости времени открытия страницы сайта от входящей скорости интернета на одном графике (рис. 3). Для этого в системе *Maple* используем функцию

```
plot([spline(v,t,v,3),interp(v,t,v),(9.53611)*(exp(-0.1317*v))],
v=1..10, t = 0.00001..10, color=[black,black,green],style =[point,
line,line],title=»Сравнение результатов», legend=[«кубический
сплайн», «интерполяционный многочлен Лагранжа»,»экспоненциальное
уравнение регрессии»], labels=[«v»,»t»]);
```

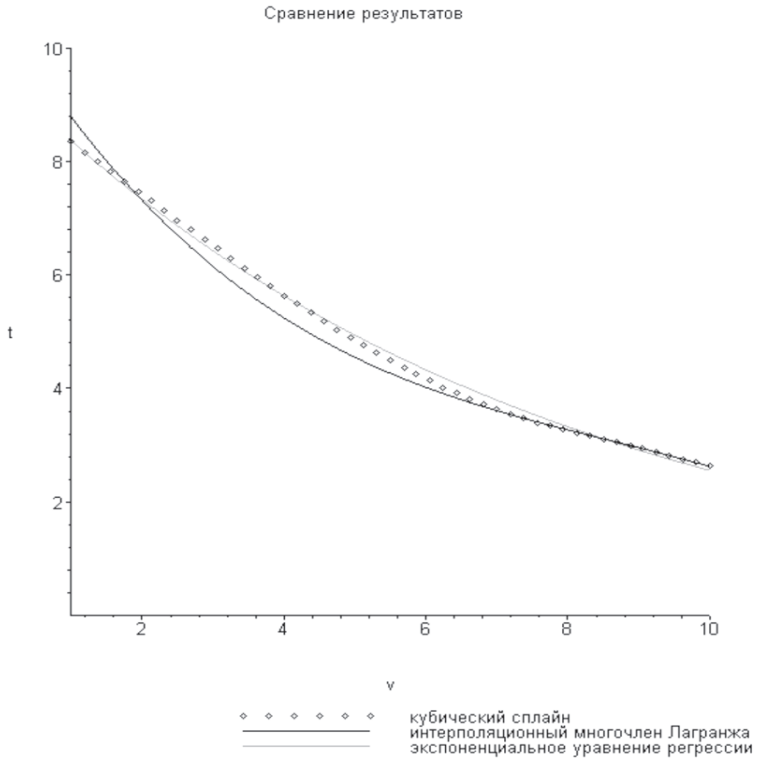

Рис. 3. Модели зависимости времени открытия страницы от входящей скорости

Из рис. 3 видим, что графики кубического сплайна и нелинейной регрессии практически совпадают. График же интерполяционного многочлена Лагранжа не выше степени 3 заметно отличается от указанных графиков.

Таким образом, в ходе исследования был проведен анализ проблемы экспресс-оценки скоростной характеристики сети Wi-Fi. Данный анализ позволил установить зависимость между временем открытия страниц в веб-браузере, на примере Mozilla Firefox, и скоростью интернет-соединения. Полученная зависимость легла в основу экспресс-оценки ориентировочной скорости интернет-соединения. Рассмотренные алгоритмы интерполирующих сплайнов позволяют провести оценку параметров сети Wi-Fi в отсутствие точной информации.

Предложенный метод экспресс-оценки скорости интернет-соединения может быть полезен в ситуациях, когда возникает необходимость оценить скорость канала на удаленном сетевом оборудовании при использовании любых беспроводных сетей, в том числе и сетей Wi-Fi, поскольку именно беспроводные сети имеют нестабильные скоростные характеристики, влияющие в конечном итоге на качество цифровой передачи данных.

Список литературы

1. Бахвалов Н.С. Численные методы [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – 7-е изд. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 636 с.

2. Васильев В.Г. Применение оборудования Wi-Fi стандарта IEEE 802.11a/b/g/n в сетях фиксированного БШД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://unidata.com.ua/add/ WiFi_deployment.pdf.

3. Гандер В. Решение задач в научных вычислениях с применением Maple и MATLAB [Текст] / В. Гандер, И. Гржебичек. – Изд-во «Вассамедина», 2005. – 520 с.

4. Дьяконов В. Maple 9 в математике, физике и образовании [Текст] / В. Дьяконов. – М.: Изд-во СОЛОН Пресс, 2004. – 688 с.

5. Киренберг А.Г. Повышение качества работы уличных сетей WI-FI [Текст] / А.Г. Киренберг, О.М. Колесников // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 5 (111). – С. 159–162.

6. Киренберг А.Г. Проблема подключения к интернету малоэтажного жилого сектора России и возможный способ ее решения [Текст] / А.Г. Киренберг, О.М. Колесников // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (107). – С. 84–87.

7. Краткое описание устройства базовых станции сотовой связи, их примерная стоимость. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://test.amobile.ru/opsos/bs/index.htm.

8. Описание базовой станции стандарта WiMAX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lanmart.ru/wimax-bazovaja-stancija-maxbridge-bs-50-pico.html.

9. Прокопенко Е.В. Применение компьютерной математики для решения многомерных задач [Текст] / Е.В. Прокопенко, Я.В. Славолюбова, С.Р. Ли // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5 (105). – С. 121–123.

10. Славолюбова Я.В. Применение систем компьютерной математики к решению вопросов существования псевдоримановых К-контактных эйнштейновых структур Сасаки на группах Ли [Текст] / Я.В. Славолюбова // Жур. «Вестник КемГУ». – 2011. – № 3–1 (47). – С. 151–154.

References

1. Bahvalov N.S. Chislennye metody [Tekst]: ucheb. posobie dlja vuzov / N.S. Bahvalov, N.P. Zhidkov, G.M. Kobelkov. 7-e izd. M.: Binom. Laboratorija znanij, 2011. 636 p.

2. Vasilev V.G. Primenenie oborudovanija Wi-Fi standarta IEEE 802.11a/b/g/n v setjah fiksi-rovannogo BShD [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://unidata.com.ua/add/ WiFi_deployment.pdf.

3. Gander V. Reshenie zadach v nauchnyh vychislenijah s primeneniem Maple i MATLAB [Tekst] / V. Gander, I. Grzhebichek. Izd-vo «Vassamedina», 2005. 520 p.

4. Djakonov V. Maple 9 v matematike, fizike i obrazovanii [Tekst] / V. Djakonov. M.: Izd-vo SOLON Press, 2004. 688 p.

5. Kirenberg A.G. Povyshenie kachestva raboty ulichnyh setej WI-FI [Tekst] / A.G. Kirenberg, O.M. Kolesnikov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2015. no. 5 (111). pp. 159–162.

6. Kirenberg A.G. Problema podkljuchenija k internetu malojetazhnogo zhilogo sektora Rossii i vozmozhnyj sposob ee reshenija [Tekst] / A.G. Kirenberg, O.M. Kolesnikov // Vestnik Kuz-basskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2015. no. 1 (107). pp. 84–87.

7. Kratkoe opisanie ustrojstva bazovyh stancii sotovoj svjazi, ih primernaja stoi-most. [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://test.amobile.ru/opsos/bs/index.htm.

8. Opisanie bazovoj stancii standarta WiMAX [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.lanmart.ru/wimax-bazovaja-stancija-maxbridge-bs-50-pico.html.

9. Prokopenko E.V. Primenenie kompjuternoj matematiki dlja reshenija mnogomernyh za-dach [Tekst] / E.V. Prokopenko, Ja.V. Slavoljubova, S.R. Li // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2014. no. 5 (105). pp. 121–123.

10. Slavoljubova Ja.V. Primenenie sistem kompjuternoj matematiki k resheniju voprosov su-shhestvovanija psevdorimanovyh K-kontaktnyh jejnshtejnovyh struktur Sasaki na gruppah Li [Tekst] / Ja.V. Slavoljubova // Zhur. «Vestnik KemGU». 2011. no. 3–1 (47). pp. 151–154.