

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ МЕЖУРОВНЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРОТОКОЛА БЫСТРОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ AD-НОС-СЕТЯХ

---

Александр Александрович БАХТИН родился в 1977 г. в городе Москве. Старший преподаватель МИЭТ. Основные научные интересы — в области телекоммуникаций, беспроводных сетей. Автор шести научных работ. E-mail: bah@miee.ru

Alexander A. BAKHTIN, was born in 1977, in Moscow. He is a Senior Assistant Professor at the Moscow Institute of Electronic Technology (MIET). His research interests are in telecommunications and wireless networks. He has published 6 technical papers. E-mail: bah@miee.ru

---

Лев Александрович ПОПОВ родился в 1987 г. в городе Кирове. Аспирант МИЭТ. Основные научные интересы — в области телекоммуникаций, распределенных вычислений. E-mail: nabam@smartlogic.ru

Lev A. POPOV, was born in 1987, in Kirov. He is a Postgraduate Student at the Moscow Institute of Electronic Technology (MIET). His research interests are in telecommunication systems and distributed computing. E-mail: nabam@smartlogic.ru

---

Алексей Витальевич СМОРНОВ родился в 1985 г. в городе Нелидово Калининской области. Аспирант МИЭТ. Основные научные интересы — в области телекоммуникаций, проводных и беспроводных сетей. Автор трех научных работ. E-mail: enzo@edu.miet.ru

Alexey V. SMIRNOV, was born in 1985, in the Kalinin Region. He is a Postgraduate Student at the Moscow Institute of Electronic Technology (MIET). His research interests are in telecommunications, wireless and wired networks. He has published 3 technical papers. E-mail: enzo@edu.miet.ru

---

*Рассматриваются способы построения протоколов маршрутизации для обеспечения эффективного взаимодействия на различных уровнях модели OSI (Open Systems Interconnection — взаимодействие открытых систем) без снижения пропускной способности и увеличения задержек при передаче информации. Проведено сравнение разработанного протокола с существующими протоколами маршрутизации беспроводных ad-hoc-сетей.*

*Methods are described to implement routing protocols ensuring effective communication at different levels of the Open Systems Interconnection (OSI) model without reducing throughput and increasing information transfer delays. A comparison is carried out between developed protocol and existing routing protocols for wireless ad-hoc networks.*

**Ключевые слова:** беспроводные сенсорные сети, быстрая маршрутизация, межуровневое взаимодействие, cross-layer, передача данных

**Key words:** wireless sensor networks, fast routing, cross-layer interaction, data transfer.

## Введение

Ad-Hoc-сеть это одноранговая сеть, состоящая из узлов без фиксированной инфраструктуры. Большинство предлагаемых для такого рода сетей алгоритмов маршрутизации по запросу генерируют большое количество служебного трафика для поиска маршрутов. Тем самым уменьшается пропускная способность сети, повышаются задержки при передаче информации, увеличивается расход энергии и т.д.

Проектирование и функционирование каждого уровня в стеке протоколов происходит независимо, а взаимодействие между уровнями является статическим и независимым за счет индивидуальных ограничений сети и приложений [1]. Поэтому использование таких протоколов маршрутизации приводит к неэффективной работе сети, в которой такие ресурсы, как энергия, ширина полосы передачи, размер памяти и скорость центрального процессора, сильно ограничены. Потребность в оптимизации алгоритмов маршрутизации для беспроводных сенсорных сетей прямо следует из ограниченности ресурсов системы. Цель оптимизации, как правило, состоит в уменьшении энергопотребления или потребности в RAM памяти.

В данной статье предложен алгоритм маршрутизации, который помогает избежать перечисленных проблем. Основная идея алгоритма состоит в том, чтобы использовать служебную информацию, находящуюся в информационном пакете, для поиска маршрутов. Реализация межуровневого взаимодействия дает возможность использовать специальные свойства беспроводных сетей, которые не могут быть доступны в сетях со строгой уровневой архитектурой.

## Обзор основных методов маршрутизации

Методы маршрутизации в беспроводных сетях передачи данных делятся на два типа: «непрерывные» и «по запросу». Основным недостатком непрерывных методов является построение таблиц маршрутизации, так как при высокой степени мобильности узлов в сети таблицы маршрутизации устаревают очень быстро, что приводит к необходимости постоянного их обновления, в результате чего сеть может выйти из строя из-за большого количества служебной информации. Недостатком методов маршрутизации по запросу является большая задержка при передаче сообщений, так как для каждого сеанса передачи данных предварительно необходимо строить маршрут, что может занять довольно большое количество времени.

На данном этапе развития беспроводных сетей передачи информации одними из самых распро-

страненных методов являются такие алгоритмы, как DSR (Dynamic Source Routing — метод маршрутизации, основанный на широковещательной рассылке служебных пакетов) [2], AODV (Ad-hoc On-Demand Distance-Vector Routing Protocol — метод маршрутизации, основанный на выборе вектора расстояния) [3] и OLSR (Optimized Link State Routing Protocol — метод маршрутизации, основанный на построении таблиц маршрутизации на каждом узле) [4].

Анализ алгоритмов маршрутизации, проведенный в [5 и 6], говорит о том, что многие распространённые алгоритмы маршрутизации показывают хорошие результаты только по какому-то одному параметру в ущерб другим значимым характеристикам. Например, OLSR имеет малые задержки при передаче полезной информации, но за счёт постоянной рассылки большого количества служебной информации для поддержания таблиц маршрутизации в актуальном состоянии. Соответственно при увеличении количества устройств в сети протокол OLSR будет сильно забивать полосу пропускания. В отличие от него, например, AODV не генерирует постоянного служебного трафика, а делает это только при необходимости. При этом увеличиваются задержки при передаче полезной информации, особенно если сеть большая.

Большинство распространённых алгоритмов достаточно несложно реализовать, поэтому энергия будет тратиться в основном на вычисление маршрутов, особенно если сеть большая.

В результате можно сделать вывод, что применять данные протоколы для больших сетей будет нецелесообразно ввиду вышеперечисленных недостатков. Поэтому их необходимо модифицировать или дополнять.

## Проблемы реализации

При разработке собственного алгоритма маршрутизации или модификации существующего требуется учитывать несколько факторов:

1. *Непредсказуемость среды, в которой работает сеть.* Из-за различных условий среды узлы могут выходить из строя, и потребуются искать альтернативные пути. Особенно это важно учитывать при разработке алгоритмов маршрутизации специального применения, в которых быстрый поиск альтернативного надёжного маршрута является первоочередной и важной задачей.

2. *Ненадёжность беспроводной среды.* При передаче данных по беспроводной среде очень часто могут появляться ошибки в пакетах или пакеты могут не дойти до места назначения. Поэтому, если

важна 100% доставка данных, необходимо внедрять в протокол методы надёжной доставки данных.

3. *Ограниченные энергетические и вычислительные ресурсы узлов.* Если сеть полностью автономная, алгоритм маршрутизации должен экономно «расходовать» энергию, а также быть несложным в реализации, иначе ресурсы процессора будут постоянно заняты, а источник питания быстро разрядится.

4. *Динамическая топология.* Если сеть мобильная, то таблицы маршрутизации придётся часто обновлять, поэтому придётся искать некоторый компромисс между низкими задержками при передаче и небольшим служебным трафиком.

Существует большое количество различных модификаций стандартных алгоритмов маршрутизации, которые призваны избавить от тех или иных недостатков, но они чаще всего узко специализированы.

### **Суть и основные принципы разработанного метода маршрутизации**

Беспроводные децентрализованные сети передачи данных представляют собой множество мобильных узлов,двигающихся хаотично и в любом направлении. В связи с этим время, в течение которого можно считать, что существует надёжное соединение между узлами, имеет ограниченное значение. Расчет времени, в течение которого существует соединение между узлами с одним промежуточным узлом, представлен в статье [7]. Было показано, что время жизни соединения сильно зависит от скорости движения узлов и имеет значение порядка 30–40 с при перемещении узлов со скоростью 7 м/с.

С учетом из анализа времени жизни соединения была выработана другая схема передачи информации, которая легла в основу разработанного метода. Фаза поиска маршрута в методе происходит одновременно с передачей пользовательской информацией. Данное решение позволяет нам не полагаться на соединение между двумя узлами, и при разрыве данного соединения разработанный метод маршрутизации не будет строить маршрут заново. Таким образом, используя данное решение, мы уменьшаем задержку при передаче данных и повышаем надёжность метода маршрутизации.

Вышеописанное решение позволяет нам отказаться от служебных пакетов, используемых большинством существующих методов маршрутизации. Использование только служебных пакетов увеличивает теоретическую пропускную способность и уменьшает нагрузку на алгоритм доступа к среде. В случае одновременной передачи информации

множеством узлов данное решение существенно повышает надёжность и отказоустойчивость беспроводной сети передачи данных.

Еще одним отличием от существующих методов маршрутизации является использование составной метрики, в которой учитывается несколько параметров, характеризующих беспроводные мобильные сети передачи данных. Среди таких параметров может быть количество скачков в маршруте, пропускная способность. Кроме того, в данной метрике учитываются и собственные параметры каждого узла: загруженность процессора, количество обрабатываемых маршрутов, заряд батареи, которые позволяют узлу самому на основе определенного алгоритма принимать решение при передаче пакета. Таким образом, если заряд батареи конкретного узла имеет значение, близкое к минимальному, узел может принять решение не участвовать в маршруте, отбрасывая тем самым все приходящие пакеты.

Алгоритм маршрутизации не привязан к конкретному уровню модели OSI, что является кардинальным отличием от существующих методов, которые работали на сетевом уровне модели. На рис. 1 показано положение разработанного протокола в семиуровневой модели протоколов передачи данных.

Таким образом, служебная информация, которая находится в составе информационного пакета, является прозрачной и для канального, и для сетевого уровня. Данная информация может быть использована и в целях коммутации, которая считается функцией канального уровня. Следовательно, можно считать, что разработанный метод является основой для межуровневого сетевого взаимодействия и при определенном программном исполнении любой уровень может использовать данные, содержащиеся в пакете. Фактически разработанный алгоритм можно считать алгоритмом коммутации с функциями маршрутизации. Такой подход к реализации быстрой маршрутизации в беспроводных мобильных сетях передачи данных еще не применялся.

### **Результаты моделирования разработанного метода и сравнение с существующими методами**

Мы провели сравнение основных используемых методов маршрутизации в беспроводных децентрализованных сетях. В среде OPNET Modeler была создана беспроводная сеть, в составе которой 24 узла. Общая площадь моделирования составляет 9 км<sup>2</sup>. Пропускная способность одного канала связи составляет 54 Мбит/с. При использовании стандарта 802.11n результаты не изменятся, так как в нашем случае передаётся небольшой объём дан-

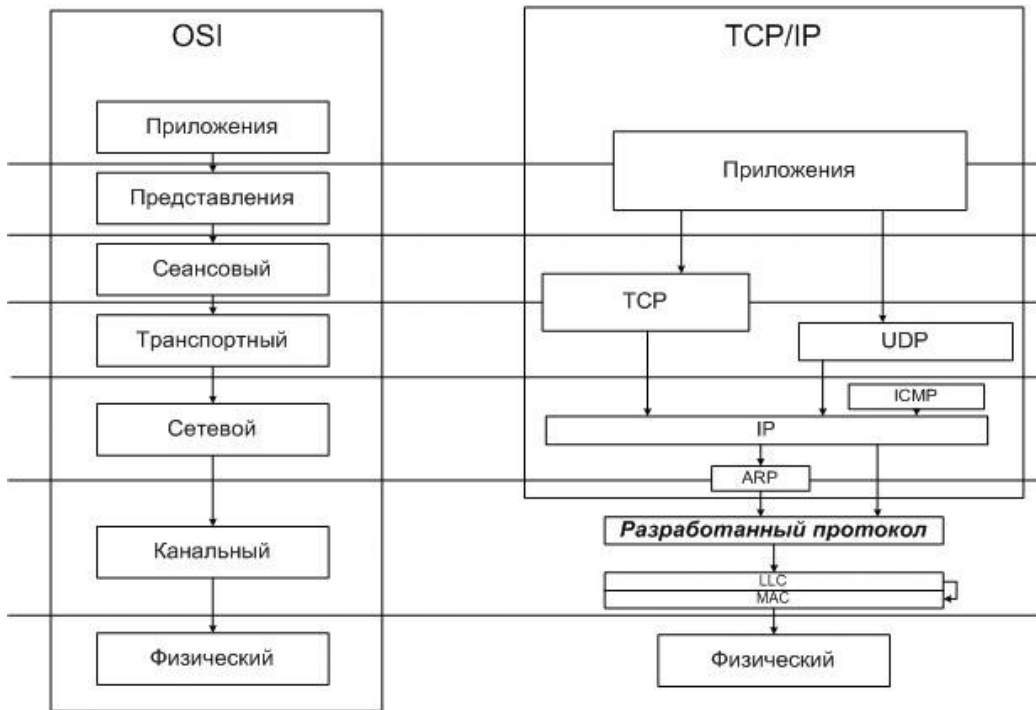


Рис. 1. Положение разработанного протокола в модели OSI

ных и расстояние между узлами не превышает максимально возможного для стандарта 802.11g. Поэтому 802.11n целесообразнее использовать на больших площадях и при больших объёмах данных. Обычно в сетях, в которых необходимо передавать звуковые данные, скорость передачи не должна быть ниже нескольких десятков кбит/с. В процессе моделирования был проведен анализ голосового трафика между двумя узлами, находящимися на границе области моделирования. Таким образом, передача информации осуществлялась через промежу-

точные узлы в соответствии с выбранным методом маршрутизации. Были проанализированы основные параметры, характеризующие производительность метода маршрутизации. Данными параметрами являются общая задержка передачи информации между отправителем и получателем голосовой информации, общая пропускная способность сети, загруженность сети и общее количество принимаемой информации за единицу времени.

На рис. 2 приведен график зависимости задержки передачи голосовой информации между узла-

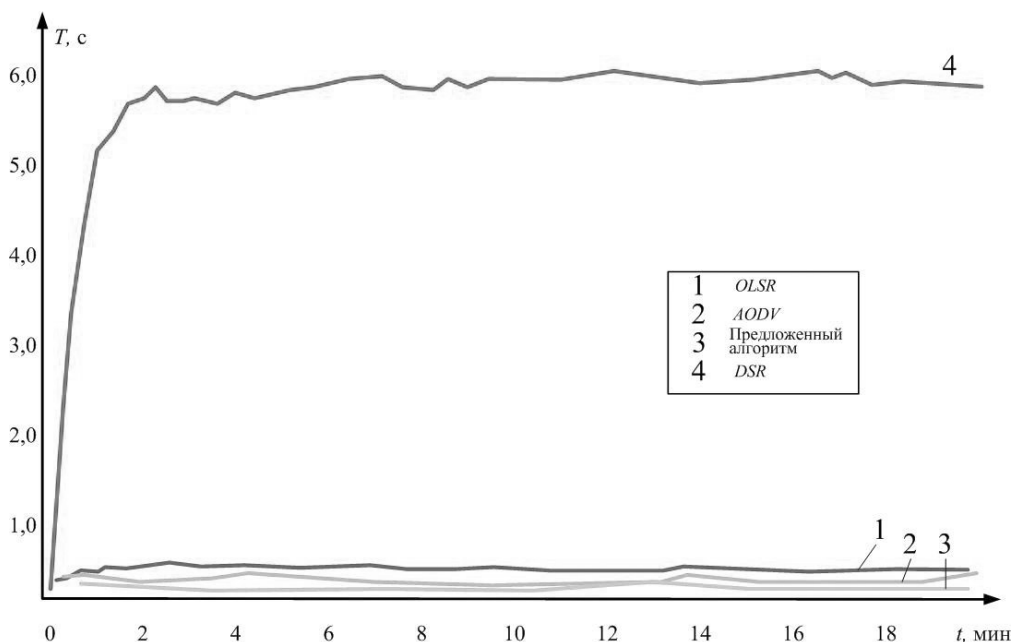


Рис. 2. График зависимости задержки при передаче голосовых данных

ми, находящимися на разных концах поля моделирования, от времени моделирования для методов маршрутизации AODV, DSR, OLSR и нашего метода соответственно. Задержка при передаче данных для протокола DSR достаточно большая, так как этот протокол использует маршрутизацию от источника с кэшированием маршрутов на промежуточных узлах, которые могут быстро устаревать ввиду мобильности сети. При увеличении количества узлов задержка для AODV также будет увеличиваться, в то время как для OLSR и нашего алгоритма изменения будут незначительными. Это можно объяснить тем, что OLSR маршрутизирует пакеты быстрее, так как поддерживает таблицы маршрутизации, а для узлов с AODV пакет будет храниться в буфере до тех пор, пока маршрут до места назначения будет не найден. В нашем алгоритме фаза поиска маршрута в методе происходит одновременно с передачей пользовательской информацией, что уменьшает задержку при передаче данных.

Рис. 3 иллюстрирует общую пропускную способность для методов маршрутизации, рассмотренных выше. Данная иллюстрация показывает, что из-за отсутствия служебных пакетов метода маршрутизации пропускная способность соединения при использовании нашего метода значительно превышает пропускную способность сети, в которой используются другие методы маршрутизации. Уменьшение числа пакетов приводит к уменьшению времени задержки доступа к среде, что, как следствие, влечет за собой увеличение пропускной способности.

Как было описано выше, в алгоритме AODV каждый промежуточный узел ищет маршрут до места назначения, буферизируя во время этого пакета, что приводит к значительной задержке доступа к среде. График зависимости времени задержки доступа к среде приведен на рис. 4.

Рис. 5 иллюстрирует зависимости загруженности от времени работы сети. Загруженность сети при использовании нашего метода меньше методов OLSR и AODV из-за отсутствия служебных пакетов. В тоже время загруженность сети возрастает из-за использования информационных пакетов при поиске маршрута, поэтому уровень загруженности при использовании нашего метода больше, чем при использовании метода DSR, который проводит поиск маршрута при помощи небольших служебных пакетов и использует маршрутизацию от источника, что не приводит к генерации служебных пакетов на промежуточных узлах.

### Выводы

Анализ производительности методов маршрутизации показал, что разработанный метод имеет следующие преимущества: минимальное время задержки при передаче голосовой информации, большая пропускная способность соединения и низкие задержки доступа к среде передачи данных. При рассмотрении значений задержек при передаче голосовой информации было установлено, что разработанный метод подходит для голосовой связи между беспроводными узлами, причем пропускная способность при такой связи остается на уровне, ко-

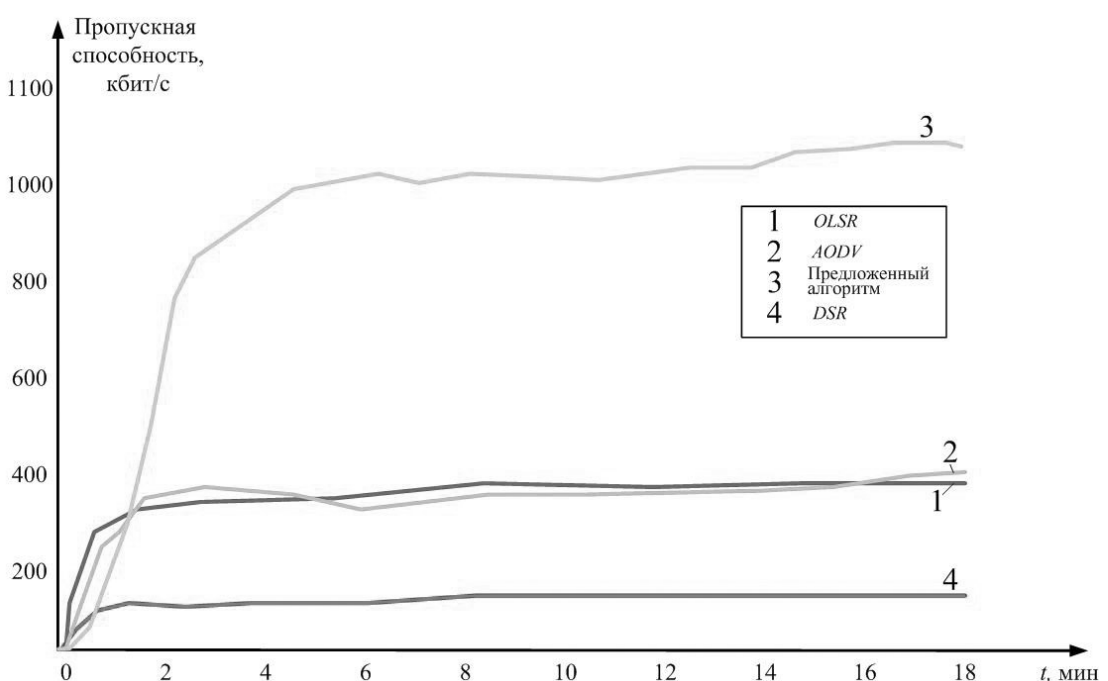


Рис. 3. График зависимости пропускной способности соединения от времени работы сети

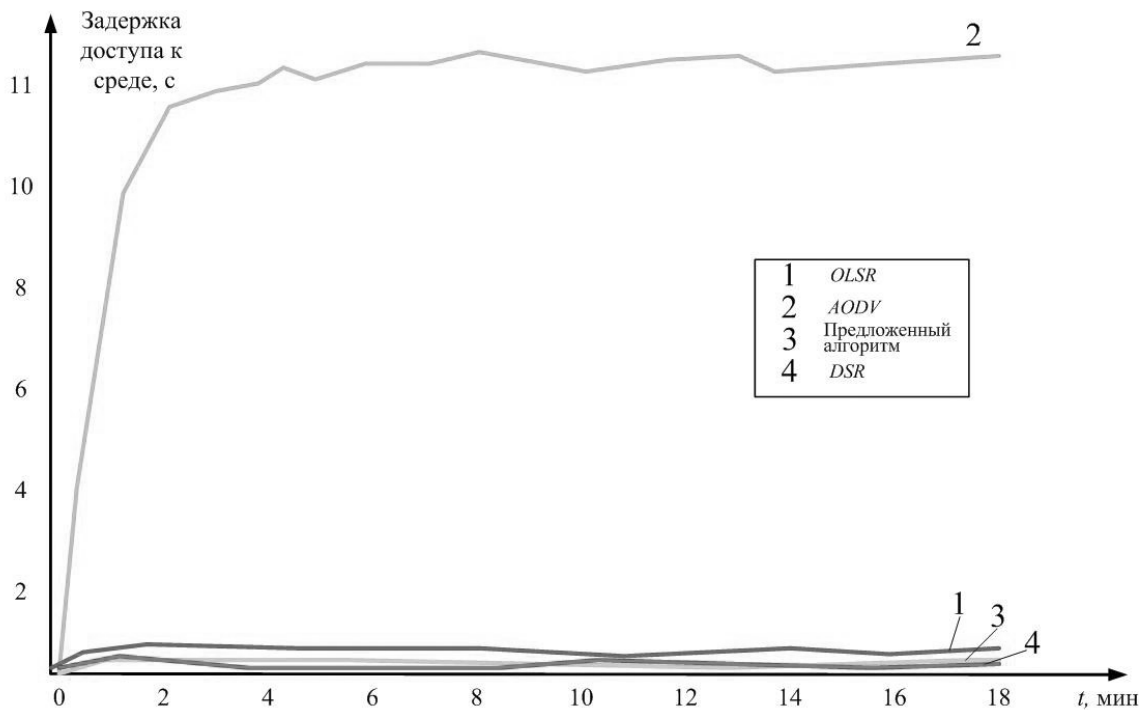


Рис. 4. График зависимости задержки доступа к среде от времени работы сети

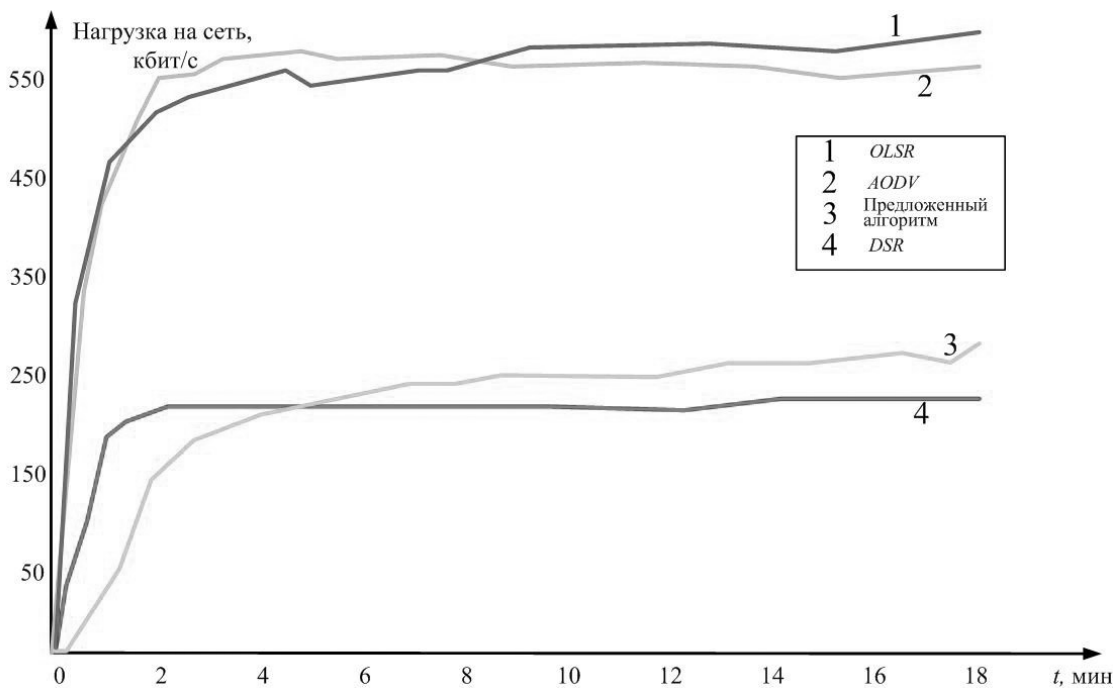


Рис. 5. Графики загруженности сети от времени работы сети

который позволяет дополнительно передавать данные любого типа. Данный факт доказывает, что наш метод может использоваться в различных сетях с чувствительными к задержке данными, в то время как основные существующие методы маршрутизации не позволяют передавать голосовые данные и, следовательно, не могут быть использованы в таких сетях.

При работе над методом маршрутизации были использованы принципы межуровневого взаимодействия, которые будут использованы при разработке будущих поколений связи. Принципы, которые необходимы для функционирования будущих беспроводных сетей передачи данных, реализованы и распределены между всеми уровнями сетевой

модели, что позволяет сделать их функционирование более прозрачным и надежным.

#### Библиографический список

1. *Марандин Д.А.* Открытые проблемы по беспроводным сенсорным технологиям // *Электросвязь*. 2009. №1. С. 29-32.

2. *Johnson, D.B.* DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks / *Johnson, D. B., Maltz, D. A. Broch, J.* // *Ad Hoc Networking*, edited by Charles E. Perkins, 2001 — pp. 139-172.

3. *Perkins C. E., Royer E. M.* Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing // *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, LA, February 1999 — pp. 90-100.

4. *Jacquet P., Muhlethaler P., Qayyum A., Laouiti A., Viennot L., Clausen T.* OLSR (Optimized Link State

Routing Protocol) RFC 3626 // *Network Working Group Project Hipercom*, INRIA, October, 2003.

5. *Gray R. S., Kotz D.* *Outdoor Experimental Comparison of Four Ad Hoc Routing Algorithms* // *International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 2004.

6. *Md. Anisur Rahman, Md. Shohidul Islam, Alex Talevski.* Performance Measurement of Various Routing Protocols in Ad-hoc Network // *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* 2009.

7. *Баринов В.В., Бахтин А.А., Прокофьев А.А., Меркушев В.А.* К расчету времени связи мобильных абонентов в сети ad hoc // *Естественные и технические науки*. 2009. №2.

МИЭТ

Статья поступила в редакцию 9.10.2009