

**ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION**

УДК 004.73

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-64-71

Махмуд А.Ш.  
Поляков В.М.**ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ  
МОБИЛЬНЫХ AD-HOC СЕТЕЙ (MANET)**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, ГК 209,  
г. Белгород 308012, Россия.*e-mail: akeelab2000@gmail.com, p\_v\_m@mail.ru***Аннотация**

Мобильные ad-hoc сети (MANET) это самоорганизующиеся беспроводные сети, которые представляют собой систему узлов без фиксированной инфраструктуры и которые могут быть быстро развернуты в таких условиях как сети военного назначения, сети в зонах чрезвычайных ситуаций, виртуальные аудитории и некоторых других. Узлы в сетях MANET мобильны и способны к автономной самоорганизации. В результате, топология сети постоянно динамически изменяется. По этой причине, маршрутизация в сетях MANET является значительно более сложной задачей, чем маршрутизация в проводных сетях. Протоколы маршрутизации в сетях MANET подразделяются на проактивные, реактивные и гибридные. В реактивных протоколах маршрут формируется при необходимости, в то время как в проактивных он задается сразу. Как проактивные, так и реактивные протоколы имеют определенные ограничения, например, проактивные протоколы используют больший объем трафика для обработки информации о маршрутах, тогда как реактивным протоколам требуется больше времени для установления маршрута. Протоколы нового поколения совмещают в себе характеристики реактивных и проактивных протоколов и называются гибридными протоколами маршрутизации. Цель настоящего исследования – оценка производительности протоколов AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) и DSR (Dynamic Source Routing) при помощи симулятора сети NS2. Для сравнения работы протоколов применялись две метрики производительности – средняя пропускная способность и средняя задержка, на основе таких параметров как размер пакета и скорость узлов. Анализ полученных результатов продемонстрировал, что протокол AODV обладает более высокой производительностью, чем DSR в плане пропускной способности, в то время как DSR является более эффективным в плане более низких показателей средней задержки.

**Ключевые слова:** мобильные ad-hoc сети, пропускная способность, средняя задержка, размер пакета, скорость узлов, AODV, DSR.

UDC 004.73

Mahmoud A.S.  
Polyakov V.M.**PERFORMANCE EVALUATION OF ROUTING PROTOCOLS  
IN MOBILE AD-HOC NETWORKS (MANET)**Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia  
*e-mail: akeelab2000@gmail.com, p\_v\_m@mail.ru***Abstract**

Mobile Ad-hoc Network (MANET) is an automobile wireless network and a collection of nodes that has no fixed infrastructure and can be rapidly deployed in any environment like military applications, emergence response, virtual classrooms, and some other applications. Nodes in MANET can organize themselves autonomously and are free to move in any direction. Hence, the

topology of this network is changing frequently and dynamically. Because of this, routing in MANET is a lot more difficult than routing in a fixed wired network. Routing protocols in MANET are classified into proactive, reactive and hybrid routing protocols. In reactive protocols, a route is established only when needed while the route in proactive protocols is available immediately. Both proactive and reactive approaches have their own limitations, for example, the proactive protocols use excess bandwidth in maintaining the routing information while, the reactive ones have long route request delay. The new generation of protocols have a nature that is reactive and proactive, and are known as hybrid routing protocols. The goal of this paper is performance evaluation of Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) and Dynamic Source Routing (DSR) routing protocols, using NS2 Simulator. We applied two performance metrics, average throughput and average end-to-end delay, based on packet size and speed of the nodes. The final analysis with realistic outcomes shows that AODV has better performance than DSR in terms of throughput whereas DSR is better for the low average end-to-end delay.

**Keywords:** Ad hoc network; throughput; End-to-end delay; packet size; speed of nodes; AODV, DSR.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных направлений сетевых технологий являются сети MANET, благодаря уникальной возможности развертывания этих сетей в любом месте и в любое время. Сети MANET – это беспроводные сети с динамической топологией, состоящие из мобильных узлов и не имеющие фиксированной инфраструктуры или централизованного управления [1]. Сети MANET могут стать эффективным решением для работы различных приложений и сред в таких условиях как аварийный режим работы (например, в зонах ликвидации чрезвычайных ситуаций), в сетях военного и гражданского назначения. Сети MANET удобны в использовании, так как они не требуют дорогостоящей инфраструктуры, в отличие от традиционных беспроводных сетей.

В связи с отсутствием статичных узлов в сетях MANET и их мобильностью для настройки и работы данных сетей предлагались различные протоколы маршрутизации, в том числе AODV и DSR [2]. Кроме того, каждый из узлов в беспроводных сетях MANET многофункционален, являясь одновременно маршрутизатором и хостом, при этом передача данных между узлами осуществляется без какого-либо централизованного управления. За счет мобильности узлов, топология сети постоянно изменяется. Для осуществления многошаговой маршрутизации между узлами требуются эффективные протоколы маршрутизации. По сравнению с проводными сетями сети MANET обладают уникальными характеристиками. В связи с ограниченным радиусом трансмиссии в беспроводных сетях, маршрутизация в сетях MANET является многошаговой [3]. За последнее время немало исследований было посвящено

маршрутизации в сетях MANET, что обусловлено необходимостью поиска наиболее оптимального и эффективного протокола маршрутизации для данных сетей. Для решения проблем, возникающих при использовании сетей MANET, таких как подвижность узлов, высокий уровень помех, низкая пропускная способность канала и высокое энергопотребление [4], были рекомендованы различные реактивные, проактивные и гибридные протоколы. Тем не менее, различие между этими протоколами заключается главным образом лишь в механизме обновления информации о маршрутах. Целью данной работы является анализ эффективности двух реактивных протоколов маршрутизации - AODV и DSR. Исследование проведено на основе таких метрик производительности как средняя пропускная способность и средняя задержка, при изменяющихся значениях размера пакетов и скорости узлов, с использованием симулятора NS2.

### 2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

#### 2.1 Протокол маршрутизации AODV (Ad-hoc on-demand distance vector)

AODV представляет собой реактивный протокол на основе протоколов DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing) и алгоритмов протокола DSR. В протоколе AODV применяется поиск маршрута аналогичный протоколу DSR, а понятие поддержки маршрута, присвоения порядковых номеров и применение маяков реализуется по образцу протокола DSDV [2]. Для поиска и установления путей между узлами протокол использует различные виды сообщений: сообщения об ошибке (сообщения RERR, Route Error), ответы (сообщения RREP,



способна настраивать и конфигурировать сама себя без вмешательства человека. Задача установления каждого маршрута в протоколе DSR решается с учетом возможности использования данной информации для формирования последующих маршрутов в выбранных направлениях. Двумя главными компонентами работы данной сети являются уже упомянутые поддержка маршрута и установление маршрута. Это позволяет установленному

маршруту функционировать эффективно и избегать возникновения петель при изменениях сети. Поддержка маршрутов обеспечивает транмиссию даже при модификациях сети, а функция установления маршрута позволяет находить оптимальный путь между узлом-отправителем и узлом назначения [10]. На рис. 2 показан пример установления маршрута между узлом-инициатором и узлом назначения, и возможные проложенные пути.

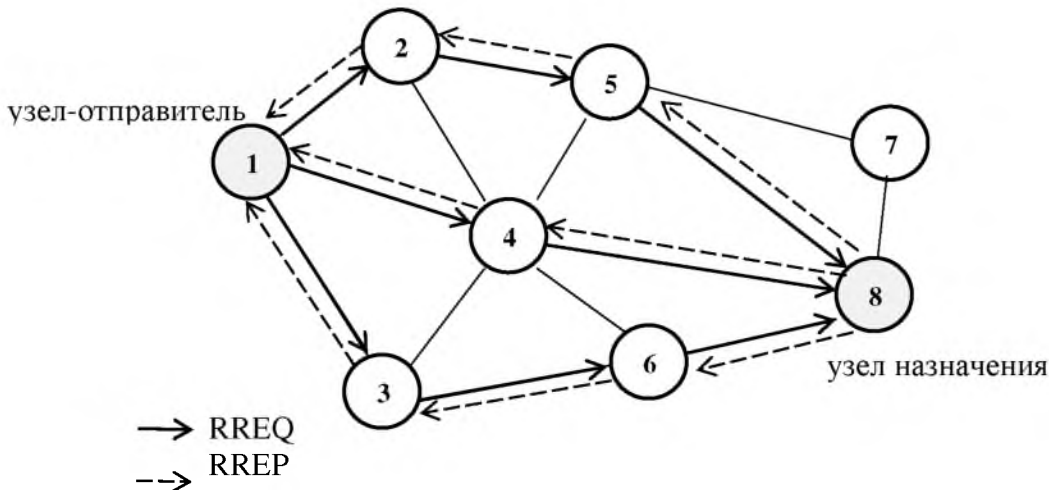


Рис. 2. Пример поиска маршрута между узлом-инициатором и узлом назначения, и возможное построение маршрута между ними

Fig. 2. An example of route discovery between source and destination nodes and possible discovered paths

### 3. УСЛОВИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данном разделе представлена среда моделирования для изучения функциональности протоколов AODV и DSR. Для этой цели применялся симулятор беспроводных сетей NS-2.28, который моделирует многошаговую беспроводную ad-hoc систему и MAC-уровень. В ходе эксперимента использовались два переменных параметра сети, а именно размер пакета и скорость узлов. Параметры моделирования указаны в Таблице 1.

Таблица 1

Параметры моделирования

Table 1

Simulation parameters

Симулятор	NS2
Протокол маршрутизации	AODV и DSR
Тип антенны	Omni Антенны
MAC-уровень	IEEE 802.11
Количество узлов	50

Время моделирования	50 с
Размер сети	1670 м × 970 м
Скорость узлов	5, 10, 15, 20 м/с
Модель мобильности	Случайная
Тип трафика	Постоянный битрейт (CBR)
Размер пакета	128, 256, 512, 1204 байт
Время паузы	24 с

#### 3.1 Метрики производительности

Для оценки производительности протоколов маршрутизации AODV и DSR при моделировании использовались две метрики производительности - средняя пропускная способность (throughput, TP) и средняя задержка (e2e delay).

##### 3.1.1 Средняя пропускная способность (TP)

Средняя пропускная способность – это объем данных, получаемых узлом назначения за единицу времени. Средняя пропускная способность вычисляется по следующей формуле.

$$\text{Throughput TP(kbps)} = \frac{\sum \text{Packets received by destination}}{\text{simulation time}} \quad (1)$$

### 3.1.2 Средняя задержка (e2e delay)

Средняя задержка – это среднее количество времени, необходимое для успешной передачи пакета данных по сети от узла-отправителя к узлу назначения. Она включает в себя все возможные виды задержек, такие как низкая скорость

передачи, буферизация на начальной стадии формирования маршрута, ожидание пакета в очереди, запаздывание передачи и повторная передача. Средняя задержка рассчитывается по следующей формуле.

$$\text{Average end – to – end delay(ms)} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - S_i)}{n} \quad (2)$$

где  $i$  – номер пакета данных,  $R_i$  - время получения пакета данных,  $S_i$  - время отправления пакета данных,  $n$  – общее число пакетов данных.

пропускную способность так как при установлении маршрута по требованию с большей долей вероятности сформирует новый маршрут, тогда как DSR с меньшим количеством пакетов в условиях изменения топологии сети имеет тенденцию настраивать и корректировать проложенные маршруты, что может привести к выбору неверных маршрутов и, как следствие, снизить пропускную способность.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как показано на рис. 3, протокол AODV более эффективен по сравнению с протоколом DSR при передаче пакетов данных размером от 128 до 1024 байт. AODV имеет более высокую

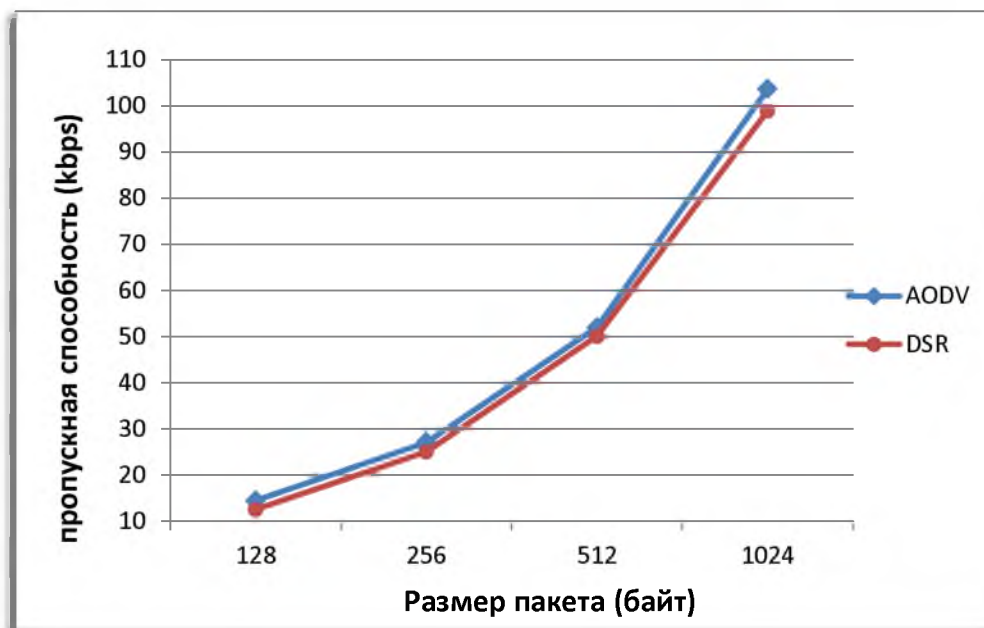


Рис. 3. График зависимости средней пропускной способности от размера пакета  
Fig. 3. Average throughput versus packet size

На рис. 4 показано влияние увеличения скорости узлов на пропускную способность. Пропускной способностью называется объем данных, передаваемых по каналу от одного узла к другому за единицу времени. Эффективные

протоколы маршрутизации имеют высокую пропускную способность. Как мы видим на представленном графике, пропускная способность протокола AODV выше, чем протокола DSR, для скорости узлов от 5 до 20 м/с.

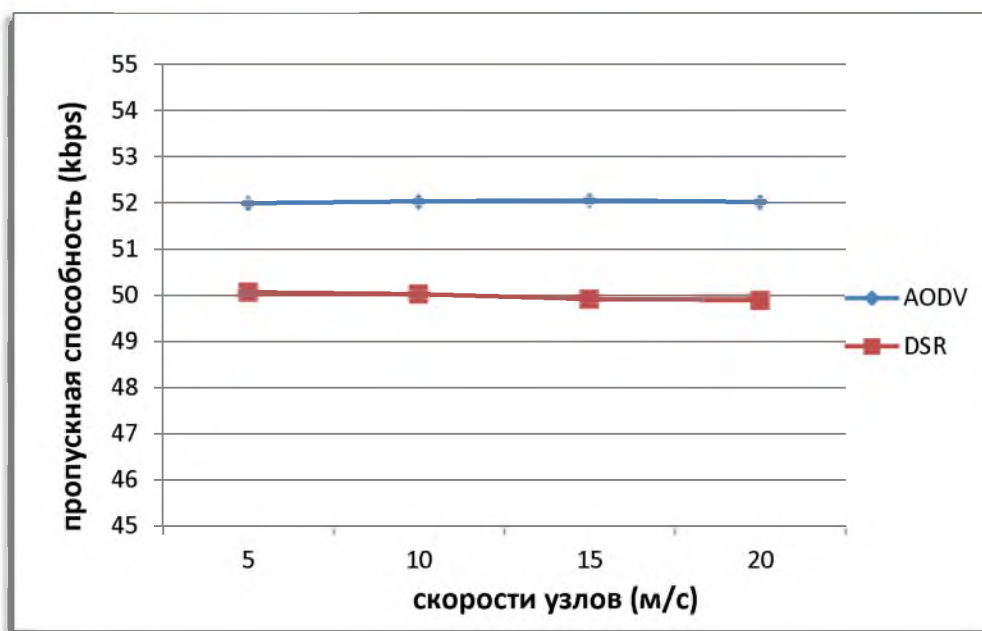


Рис. 4. График зависимости средней пропускной способности от скорости узлов  
Fig. 4. Average throughput versus node speed

На рис. 5 представлена средняя задержка для различных размеров пакетов; результаты исследования показывают, что протокол DSR более эффективен, чем протокол AODV, при

передаче пакетов данных размером от 128 до 1024 байт. Так как издержки маршрутизации у DSR меньше, чем у AODV, это способствует меньшей загруженности канала.

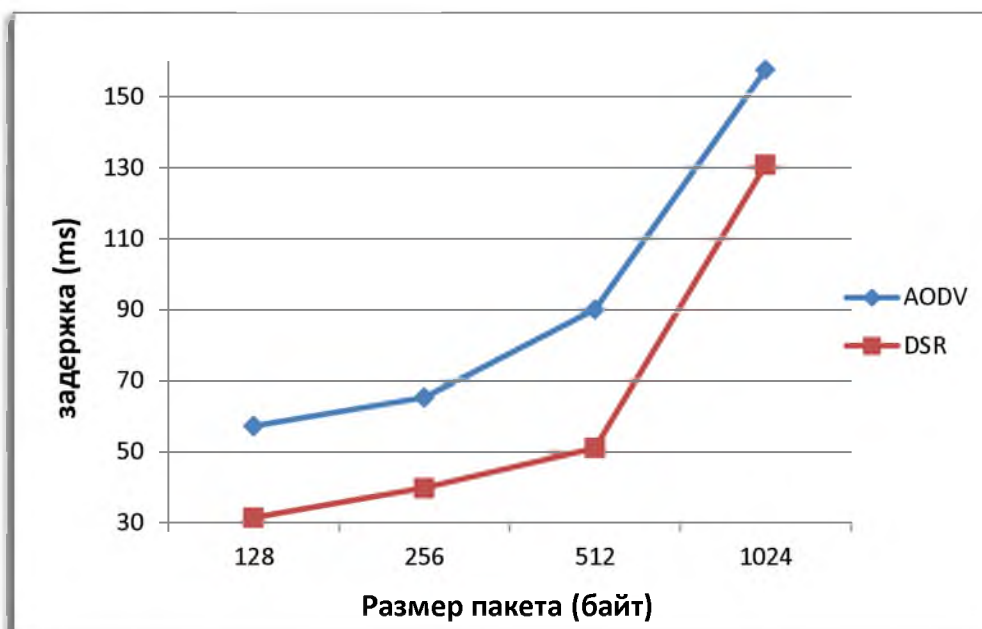


Рис. 5. График зависимости средней задержки от размера пакета  
Fig. 5. Average end to end delay versus packet size

На рис. 6 показана эффективность протоколов AODV и DSR в плане значения средней задержки для скорости узлов от 5 до 20 м/с, при количестве узлов 50. Как видно из графика, протокол DSR имеет значительно

меньшую задержку, чем AODV. Более того, пакеты маршрутизации в нем более оптимально используют пропускную способность канала, что еще более снижает задержку в протоколе DSR по сравнению с протоколом AODV.

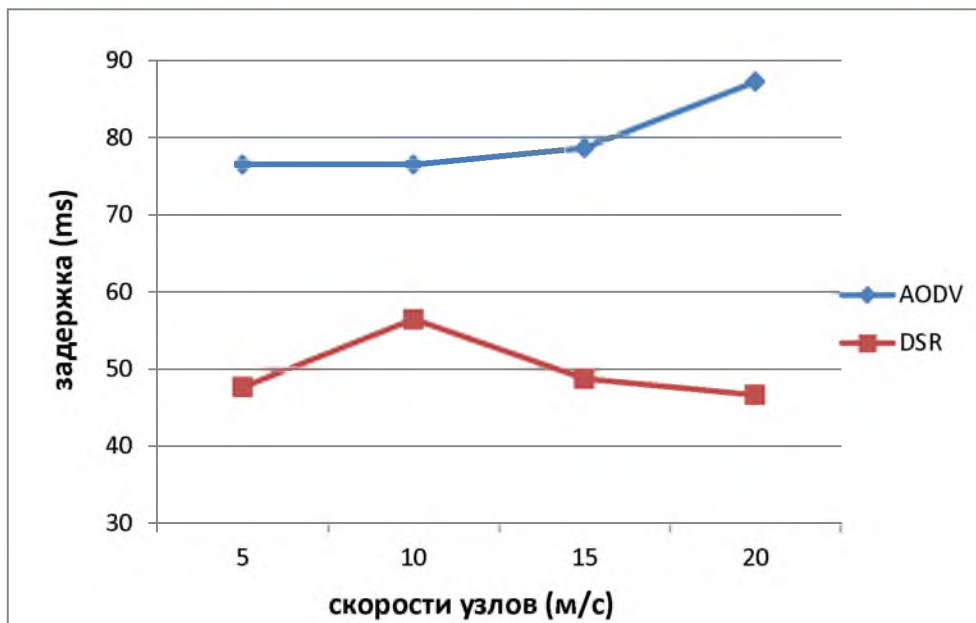


Рис. 6. График зависимости средней задержки от скорости узлов  
Fig. 6. Average end to end delay versus node speed

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании представлен краткий обзор и сравнительный анализ функциональности протоколов маршрутизации AODV и DSR. Были смоделированы сети с одинаковой топологией и проведено экспериментальное исследование работы двух различных реактивных протоколов маршрутизации для мобильных сетей. Результаты моделирования продемонстрировали, что протокол AODV более эффективен, чем протокол DSR, в плане пропускной способности, в особенности при увеличении размеров пакета или скорости узлов. В то же время, исследование показало, что протокол DSR более эффективен в плане значения средней задержки, особенно при одновременном значительном росте как размеров пакетов, так и скорости узлов.

### Список литературы

1. М. Абделақ, С. Серхан, Р. Альсакур, А. Сатрия. 2011. Безопасный механизм маршрутизации для протокола маршрутизации AODV в сетях MANET с использованием метода «черной дыры». Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 5: 1137-1145.
2. Д.Б. Джонсон, Д. А. Мальц. 1996. Динамическая маршрутизация от источника в беспроводных ad hoc сетях и мобильных компьютерных средах, Изд-во: Springer. стр. 153-181.
3. А.К. Гупта, Х. Садавартти, А. К. Верма. 2010. Анализ производительности протоколов маршрутизации AODV, DSR и TORA. IACSIT international journal of Engineering and Technology. 2: 1793-8236.

4. С. Мишра, Б.К. Паттаньяк. 2013. Энергоэффективная маршрутизация в мобильных ad hoc сетях: Обзор. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.8: 173- 189.

5. Б. Пол, М. Ибрахим, М. Бикас, А. Насер. 2012. Экспериментальный анализ соединений в протоколах AODV и DSR по сравнению с TCP и CBR в условиях различной скорости и плотности узлов в сетях VANET. arXivpreprint arXiv: 1204.1206.

6. С. Танейя, А. Куш. 2010. Исследование протоколов маршрутизации в мобильных и ad hoc сетях. International Journal of Innovation, Management and Technology.1: 2010-0248.

7. К. Куладинити, А. Удугама, Н.А. Фикурас, С. Гёрг. 2005. Экспериментальная оценка эффективности применения протокола AODV в статических средах. In Proceedings of the Tridentcom.

8. М. Сабанани, Р.А.Х.А.С. Разд, А.Х. Аль-Сакур, С. Куркуши. 2014. Расширенный протокол маршрутизации AODV для сетей Manet. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Т. 9, стр. 153- 159.

9. П. Нанд, С. Шарма, Р. Астия. 2010. Анализ производительности протоколов маршрутизации DSR, STAR и AODV для мобильных Adhoc сетей при высокой загрузке сети. Traffic, Т. 1, 2010.

10. Джонсон Д., Гу Й., Мальц Д. (2007). Протокол маршрутизации DSR для мобильных ad hoc сетей. RFC 4728, февраль.

### References

1. Abdelhaq M., Serhan S., Alsaqour R. and Satria A. 2011. Security Routing Mechanism for a Black Hole Attack over AODV MANET Routing Protocol. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 5: 1137-1145.

2. Johnson D.B. and Maltz D.A. 1996. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks and in Mobile Computing, ed: Springer. Pp. 153-181.

3. Gupta A.K., Sadawarti H. and Verma A.K. 2010. Performance Analysis of AODV, DSR and TORA Routing Protocols. IACSIT international journal of Engineering and Technology. 2: 1793-8236.

4. Mishra S. and Pattanayak B.K. 2013. Power Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks: A survey. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 8: 173- 189.

5. Paul B., Ibrahim M., Bikas M. and Naser A. 2012. Experimental Analysis of AODV and DSR over TCP and CBR Connections with Varying Speed and Node Density in VANET. arXiv preprint arXiv: 1204.1206.

6. Taneja S. and Kush A. 2010. A Survey of Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks. International Journal of Innovation, Management and Technology. 1: 2010-0248.

7. Kuladinithi K., Udugama A., Fikouras N.A. and Görg C. 2005. Experimental Performance Evaluation of AODV Implementations in Static Environments. In Proceedings of the Tridentcom.

8. Sanabani M., Raed R.A.H.A.S., Al Saqour A.H. and Kurkushi S. 2014. A Reverse and Enhanced AODV Routing Protocol for Manets. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 9. Pp. 153- 159.

9. Nand P., Sharma S. and Astya R. 2010. Traffic Load Based Performance Analysis of DSR, STAR and AODV Adhoc Routing Protocol. Traffic, vol. 1, 2010.

10. Johnson D., Hu Y. & Maltz D. (2007). The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks RFC 4728, February.

**Махмуд Акил Шаер**, Магистрант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

**Поляков Владимир Михайлович**, проректор по учебной работе БГТУ, заведующий кафедрой программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, Кандидат технических наук, профессор

**Mahmoud Aqil Shaer**, Master Degree Student, Department of Software Computer Technology and Automated Systems

**Polyakov Vladimir Mikhailovich**, Vice-chancellor for educational work, Head of the Department of Software Computer Technology and Automated Systems, Candidate of Technical Sciences, professor