

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАНОСЕТЯХ

Е. В. Князев¹, М. А. Блинников^{1*}, Р. Я. Пирмагомедов¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: michael2102@mail.ru

Аннотация

Развитие наносетей обусловлено широкими возможностями их применения. Нанопустройства, объединенные в единую систему, являются транспортной артерией наносетей. В связи с крайне малыми размерами наносенсоров, которые ограничены своей производительностью и объемами, остро встает необходимость разработки и использования энергетически эффективных способов передачи данных. Для решения данных проблем были предложены методы переадресации данных в электромагнитной наносети. **Предмет исследования.** В статье приводятся обзор используемых на данный момент способов доставки данных до пункта назначения. **Метод.** Сбор, анализ и обобщение научных достижений в области электромагнитных наносетей за последние несколько лет. **Основные результаты.** Рассмотрены основные методы переадресации, проведен анализ их преимуществ и недостатков, сделаны выводы о наиболее успешной схеме. **Практическая значимость.** Полученные результаты дают возможность оценить и выбрать наиболее подходящий метод переадресации в зависимости от требований к сети.

Ключевые слова

Интернет Нановещей, динамический канал, наносеть, передача данных, маршрутизация, схема переадресации.

Информация о статье

УДК 004.77

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 29.03.18, принята к печати 01.07.18.

Ссылка для цитирования: Князев Е. В., Блинников М. А., Пирмагомедов Р. Я. Анализ основных способов передачи данных в электромагнитных наносетях // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 2. С. 70–78.

FREQUENCY AND DISTANCE PLANNING OF HIGH DENSITY WI-FI NETWORKS

E. Knyazev¹, M. Blinnikov^{1*}, R. Pirmagomedov¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: michael2102@mail.ru

Abstract—Development of nanonetworks is caused by ample opportunities of their application. The nanodevices integrated in system are a transport artery of nanonetworks. Due to the extremely small sizes of nanosensors, which are limited by their performance and volumes, there is an urgent need to develop and use an energy efficient readdressing scheme. To solve these problems, have been proposed methods for readdressing data information in an electromagnetic nanonetwork. **Research subject.** The article provides an overview of the current methods of delivering data to the destination. **Method.** Collecting, analysis and generalization of scientific achievements in the field of electromagnetic nanonetworks for the last few years. **Core results.** The main methods of readdressing are considered, the analysis of their advantages and disadvantages is carried out, conclusions about the most successful scheme are made. **Practical relevance.** The received results give an opportunity to evaluate and choose the most suitable method of readdressing depending on the network requirements.

Keywords—Internet of NanoThings, dynamic channel, nanonetwork, data transmission, routing, scheme of readdressing.

Article info

Article in Russian.

Received 29.03.18, accepted 01.07.18.

For citation: Knyazev E., Blinnikov M., Pirmagomedov R.: Review of the Main Methods of Data Transmission in Electromagnetic Nanonetworks // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 2. pp. 70–78 (in Russian).

Введение

Предположительно, в ближайшие годы, станет возможным широкое распространение наноустройств – интегрированных устройств, размером от одного до нескольких сотен нанометров. Особенностью наноустройств является то, что в связи со своей миниатюрностью они способны производить только простые вычисления, не требующие большой вычислительной мощности и хранить лишь небольшое количество информации. Однако, данные ограничения могут быть преодолены путем введения в сеть маршрутизаторов, предназначенных для управления другими наноустройствами и координации их действий [1, 2].

На данный момент изучено несколько способов связи между наноустройствами, однако исследователи до сих пор не пришли к согласию о том, какой из способов наиболее подходящий. На данный момент существует четыре типа связи: наномеханический, акустический, молекулярный и электромагнитный. В данной статье речь идёт только о электромагнитном способе взаимодействия наноустройств.

Электромагнитная связь наноустройств подразумевает под собой передачу и прием данных с помощью электромагнитного излучения. Недавние открытия в области молекулярной и углеродной электроники произвели новый ряд устройств наноразмеров, в число которых входят: антенны, приемопередатчики, сенсорные модули, источники питания и хранилища информации. Предполагается, что компоненты таких наноустройств, использующих электромагнитное излучение для взаимодействия, будут выполнены на основе инновационных наноматериалов, в частности на основе графена [3, 4, 5].

Основными элементами электромагнитной сенсорной наносети являются:

Наноузлы – простые устройства с небольшими энергетическими и вычислительными ресурсами, возможностью записи и хранения данных, а также способные предоставлять информации другим наноустройствам. В зависимости от цели использования различают два типа наноузлов: наносенсоры, собирающие информацию о параметрах окружающей среды, и наноактуаторы – устройства, задачей которых является воздействие на окружающую среду.

Наномаршрутизаторы – наноустройства, имеющие размеры и ресурсы, большие, чем у наноузлов. Наномаршрутизаторы предназначены для агрегирования и обработки информации, поступающей от наноузлов, а также для управления их поведением с помощью коротких управляющих сообщений.

Наносетевые шлюзы – ещё более сложные узлы, выступающие в качестве шлюзов между нано- и микромирами, другими словами они соединяют наносеть с внешним миром [6].

Интеграция наносетей и современной сети связи общего пользования (ССОП) приведет не только к расширению спектра возможностей их применения, но и станет причиной новых вопросов и проблем. Поскольку использование заменяемых источников питания (батарей и аккумуляторов) в наноустройствах невозможно по причине чрезмерной трудоемкости самой операции замены питающего элемента, исследователи наносетей отдают предпочтение способам добычи электроэнергии извне. Однако, учитывая размеры наноустройств, добывающие электроэнергию методы не могут снабдить большим количеством энергии, а потому эффективность потребления энергии наноустройствами до сих пор является основным вопросом, требующим ответа [7]. Кроме того, наносетям также присущи проблемы ССОП, такие как: дублирование пакетов в сети и образование так называемых «петель» – событий, когда отправленный пакет по тем или иным причинам не может достичь пункта назначения и длительное время движется по одному маршруту, проходя один и тот же участок сети. В случае с ССОП такие проблемы ведут только к снижению эффективности использования сетевых ресурсов, однако в случае с наносетями, в которых вопрос минимизации энергетических затрат более критичен, данные события приведут к чрезмерному энергопотреблению или даже к нарушению работоспособности всей наносети. Данный факт связан с тем, что каждое отправление и прием с каждого узла наносети является операцией, потребляющей энергию [8].

Кроме того, следует отметить, что топология сбора информации с наносенсоров – динамическая [9, 10], а, следовательно, требует использования способов передачи информации, предполагающих адаптивность каналов, для достижения эффективного сбора и транспортировки данных [7]. Данная статья

посвящена обзору основных способов передачи информации в электромагнитных наносетях.

На данный момент разработаны следующие способы доставки данных до пункта назначения: метод оптимальной пересылки (*optimal forwarding*) [11], Selective Flooding (*S-Flooding*) [12], Random Forwarding (*RForward*) [12], TTL-based Efficient Flooding (*TEFlood*) [8], TTL-based Efficient Forward (*TEForward*) [11].

Алгоритм оптимальной пересылки

Алгоритм оптимальной пересылки предполагает, что наносеть координируется наносетевым шлюзом и собирает информацию в условиях динамического изменения канала. Минимальное потребление энергии наноустройствами достигается передачей пакетов данных напрямую на наносетевые шлюзы по наиболее энергоэффективному пути, следовательно, основной задачей для этого метода является нахождение этого пути.

В целях поиска оптимального пути каждое наноустройство строит отображение топологии наносети в виде графа, вершины и дуги которого основаны на координатах наноустройств и расстоянии передачи сигнала от наноузлов к наношлюзу. Далее, в режиме реального времени проводится подсчет общего потребления энергии, необходимого для передачи информации на следующий узел, и сеть делает выбор маршрута в сторону наиболее эффективного и оптимального пути, используя алгоритм Дейкстры. Данный процесс является энергетически затратным, исходя из количества анализируемых связей элементов внутри системы, что является недопустимым для организации наносетей [12].

Алгоритм S-Flooding

Решение S-Flooding было разработано для предотвращения потери пропускной способности, на которую влияет дублирование пакетов. Наноузел, получая сообщение от другого наноустройства, отправляет пакет всем устройствам в его диапазоне передачи. Для того что бы не возникло дублирования пакетов, каждое сообщение определяется уникальной парой «идентификатор пакета – идентификатор отправителя». Сохраняя в памяти данные идентификаторы, связанные с последними полученными сообщениями, узел не может переслать полученный пакет устройству, который его отправил до этого. Кроме того, для сокращения количества передач предполагается, что для каждого наноузла задается следующее ограничение – запрещается передача пакета в направлении противоположном пункту назначения. Данный способ позволяет максимально минимизировать потери пропускной способности, но с ростом размера наносети будет наблюдаться большое количество коллизий пакетов, что приведет к увеличению нагрузки на сеть, а соответственно и к увеличению энергопотребления [12].

Алгоритм R-Forward

Данное решение предполагает, что наноузел, осуществляя передачу, выбирает следующий наномаршрутизатор случайно из числа соседних. Подразумевается, что наноустройство обладает информацией обо всех своих соседних

узлах в диапазоне передачи. Фактически, наноузел перед осуществлением передачи проверяет присутствие одного или нескольких соседних наномаршрутизаторов, а затем случайным образом выбирает один из них. В случае, если ни один наномаршрутизатор в окружении не идентифицирован, пакет остается в узле ожидая изменения топологии наносети, в следствие которого станет возможным появление подходящего наномаршрутизатора в зоне доступа для дальнейшего скачка.

Одной из проблем рассматриваемого алгоритма является необходимость предотвращения возникновения «петель». Данная задача решается путем хранения в памяти узла пары «идентификатор пакета – идентификатор следующего перехода», связанной с последними отправленными сообщениями, не позволяя дважды оказываться на одном узле. Данная схема позволяет избежать петель и дубликации пакетов, имеет стабильный уровень энергопотребления [12].

Алгоритм TEFlood

TEFlood – способ распространения информации, основанный на принципе ограничения «жизни» пакета в наносети – ограничения предельного времени или количества переходов, по истечении которых пакет перестает существовать в сети. Данный алгоритм предполагает, что наномаршрутизаторы определяют время «жизни» пакетов, основываясь на информации, полученной с помощью специальные сигнальных «маячков» – широковещательных сообщений, позволяющих определять топологию сети в режиме реального времени. Далее, передача данных наномаршрутизаторами происходит только в том случае, если они находятся к пункту назначения ближе, чем предыдущий отправитель. Наноузел отправляет пакет всем устройствам в своем диапазоне передачи, и в случае, если сообщение прибыло на наномаршрутизатор, который находится дальше от наношлюза, чем сам передающий наноузел, пакет дальше не передается, в обратном случае пакет передается по установленному алгоритму.

Данный алгоритм позволяет избежать излишней нагрузки на сеть и неэффективного энергопотребления, путем устранения возможности передачи сообщений в сторону обратную от места назначения. Кроме того, ограничение времени существования пакетов делает невозможным бесконечную передачу одного и того же пакета в наносети, что также уменьшает общую нагрузку и энергопотребление [8].

Алгоритм TEFoward

Данный алгоритм передачи данных также основан на технологии ограничения времени «жизни» пакета данных в сети. Наномаршрутизаторы выбирают устройство, на которое будет произведена передача, основываясь на информации, собранной с наноустройств в ответном сигнале после получения сигнального «маячка». Сбор информации о топологии наносети происходит повторяющимся вещанием одного и того же сигнала. Каждый наномаршрутизатор до которого дошел сигнал, в ответном сообщении информирует инициатора передачи данных о количестве промежуточных устройств между ними, после чего и выбирается лучший маршрут передачи данных.

Необходимость постоянного согласования наноустройств увеличивает нагрузку на сеть, однако обеспечение оптимального выбора пути и ограничение «жизни» пакета, не позволяющее ему бесконечно передаваться в сети, в конечном итоге повышает эффективность использования сетевых ресурсов и снижает расходы энергии, затрачиваемой на осуществление передачи данных внутри сети.

Сравнение существующих алгоритмов передачи данных в электромагнитных наносетях

В соответствии с [8, 11] было проведено моделирование наносети, работающей на вышеперечисленных алгоритмах. Графические результаты моделирования продемонстрированы на рис. 1–3.

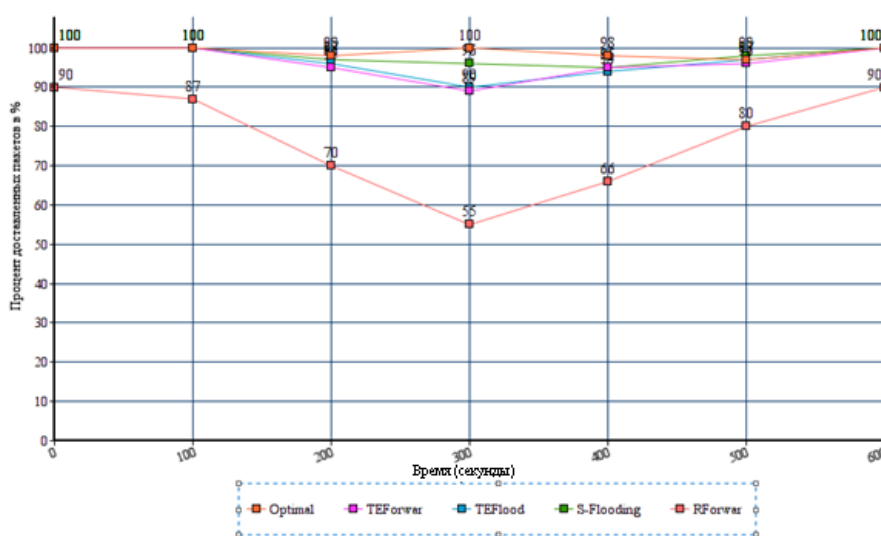


Рис. 1. Процент доставленных пакетов в зависимости от выбранного способа передачи данных

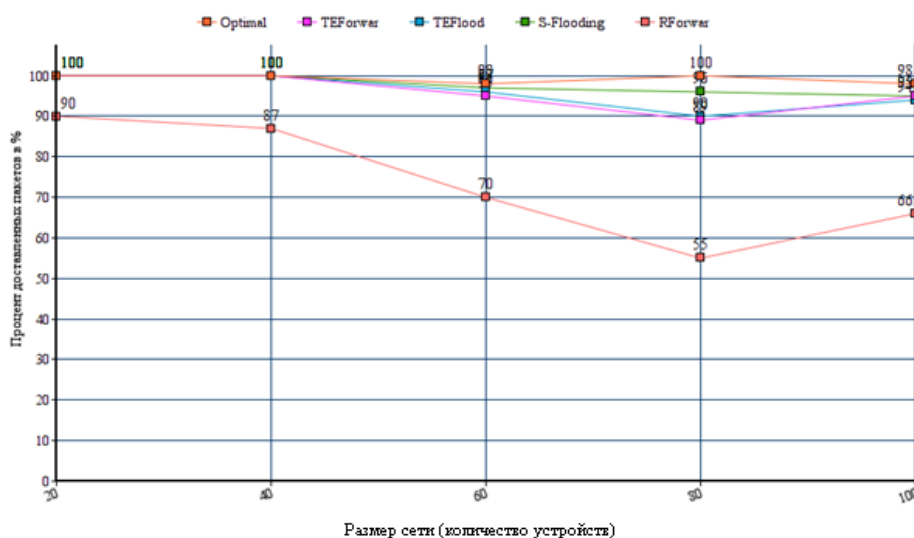


Рис. 2. Процент доставленных пакетов в зависимости от размера сети

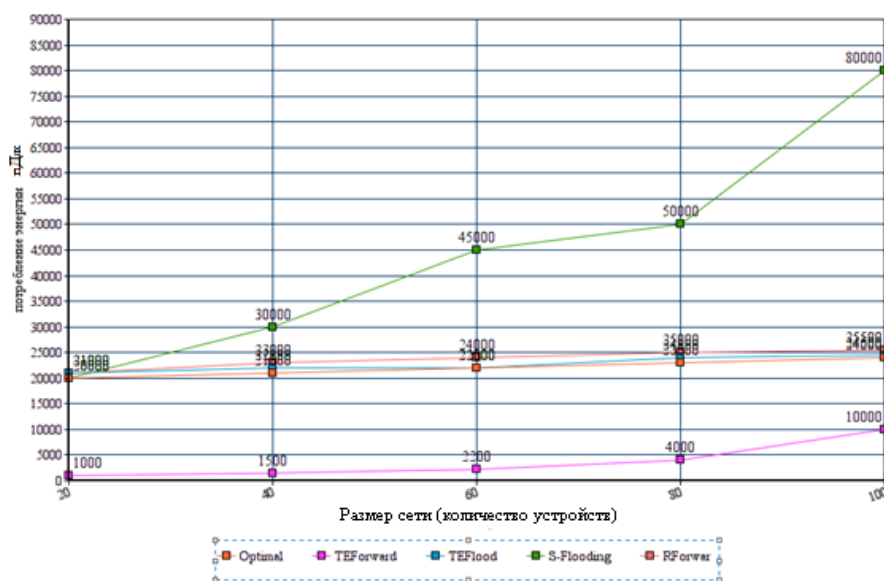


Рис. 3. Уровень потребления энергии в зависимости от размера сети

Как видно из представленных результатов использование метода передачи данных TEFoward независимо от размера сети позволяет существенно снизить затраты энергии, при этом избегая дополнительных потерь пакетов при передаче, а также не внося существенных задержек.

Заключение

В настоящей статье были рассмотрены и проанализированы основные алгоритмы передачи данных в электромагнитных наносетях. Каждый из представленных способов имеют свои недостатки и преимущества, а оптимальный выбор зависит от требований к проектируемой сети, таких как – энергопотребление, размер сети, задержка и уровень допустимых потерь пакетов. Основной и наиболее сложной проблемой при проектировании наносетей является высокое потребление энергии, так как именно на энергопотреблении сказываются любые действия производимые электромагнитной наносенсорной сети. Кроме того произведена симуляция передачи данных в наносетях, работающих на вышеописанных алгоритмах, а также выявлен алгоритм с наименьшим энергопотреблением.

Литература

1. Akyildiz I. F., Jornet J. M. The Internet of Nano-Things // IEEE Wireless Communications. 2010. Vol. 17. Iss. 6. pp. 58–63.
2. Пирмагомедов Р. Я., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Бактериальные наносети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2. (10). С. 5–10.
3. Jornet J. M., Akyildiz I. F. Graphene-based Nano-Antennas for Electromagnetic Nanocommunications in the Terahertz Band // Fourth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). 2010. pp. 1–5.
4. Jornet J. M., Akyildiz. I. F. Graphene-based Plasmonic Nano-Transceiver for Terahertz Band Communication // Eighth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). 2014. pp. 492–496.
5. Aznakayeva D. E., Yakovenko I. A., Aznakayev E. G. Passive Acoustic Graphene Nanosensor Modeling // IEEE Radar Methods and Systems Workshop (RMSW). 2016. pp. 91–94.

6. Xu J., Zhang R., Wang Z. An Energy Efficient Multi-hop Routing Protocol for Terahertz Wireless Nanosensor Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. Vol. 9798. pp. 367–376.
7. Tsiolaridou A., et al. Lightweight, Self-Tuning Data Dissemination for Dense Nanonetworks // *Nano Communication Networks*. 2016. Vol. 8. pp. 2–15.
8. Yu H., Ng B., Seah W. K. G., Qu Y. TTL-based Efficient Forwarding for the Backhaul tier in Nanonetworks // *14th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC)*. 2017. pp. 554–559.
9. Pirmagomedov R., Blinnikov M., Glushakov R., Muthanna A., Kirichek R., Koucheryavy A. Dynamic Data Packaging Protocol for Real-Time Medical Applications of Nanonetworks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2017. Vol. 10531. pp. 196–205.
10. Блинныеков М. А., Пирмагомедов Р. Я. Оптимизация нагрузки на сети связи общего пользования, вызванной трафиком медицинских наносетевых приложений Вещей // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2016. Т. 4. № 3. С. 22–30.
11. Yu H., Ng B., Seah W. K. G. TTL-based Efficient Forwarding for Nanonetworks with Multiple Coordinated IoT Gateways // *IEEE Internet of Things Journal*. 2018. Vol. 5. Iss. 3. pp. 1807–1815.
12. Piro G., Grieco L. A., Boggia G., Camarda P. Nano-Sim: Simulating Electromagnetic-based Nanonetworks in the Network Simulator 3 // *6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*. 2013. pp. 203–210.

References

1. Akyildiz I. F., Jornet J. M. The Internet of Nano-Things // *IEEE Wireless Communications*. 2010. Vol. 17. Iss. 6. pp. 58–63.
2. Pirmagomedov R., Kirichek R., Koucheryavy A.: Bacterial Nanonetworks // *Telecom IT*. 2015. Vol. 2 (10). pp. 5–10 (in Russian).
3. Jornet J. M., Akyildiz I. F. Graphene-based Nano-Antennas for Electromagnetic Nanocommunications in the Terahertz Band // *Fourth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. 2010. pp. 1–5.
4. Jornet J. M., Akyildiz I. F. Graphene-based Plasmonic Nano-Transceiver for Terahertz Band Communication // *Eighth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. 2014. pp. 492–496.
5. Aznakayeva D. E., Yakovenko I. A., Aznakayev E. G. Passive Acoustic Graphene Nanosensor Modeling // *IEEE Radar Methods and Systems Workshop (RMSW)*. 2016. pp. 91–94.
6. Xu J., Zhang R., Wang Z. An Energy Efficient Multi-hop Routing Protocol for Terahertz Wireless Nanosensor Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. Vol. 9798. pp. 367–376.
7. Tsiolaridou A., et al. Lightweight, Self-Tuning Data Dissemination for Dense Nanonetworks // *Nano Communication Networks*. 2016. Vol. 8. pp. 2–15.
8. Yu H., Ng B., Seah W. K. G., Qu Y. TTL-based Efficient Forwarding for the Backhaul tier in Nanonetworks // *14th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC)*. 2017. pp. 554–559.
9. Pirmagomedov R., Blinnikov M., Glushakov R., Muthanna A., Kirichek R., Koucheryavy A. Dynamic Data Packaging Protocol for Real-Time Medical Applications of Nanonetworks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2017. Vol. 10531. pp. 196–205.
10. Блинныеков М., Пирмагомедов Р. Optimization of the Load on the Public Telecommunications Network, the Traffic Caused Medical Nanonetwork Application // *Telecom IT*. 2016. Vol. 4. Iss. 3. pp. 22–30 (in Russian).
11. Yu H., Ng B., Seah W. K. G. TTL-based Efficient Forwarding for Nanonetworks with Multiple Coordinated IoT Gateways // *IEEE Internet of Things Journal*. 2018. Vol. 5. Iss. 3. pp. 1807–1815.
12. Piro G., Grieco L. A., Boggia G., Camarda P. Nano-Sim: Simulating Electromagnetic-based Nanonetworks in the Network Simulator 3 // *6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*. 2013. pp. 203–210.

Князев Евгений Викторович

– магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация, fa1lm3eee@gmail.com

- Блинников Михаил Андреевич*** – аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, michael2102@mail.ru
- Пирмагомедов Рустам Ярахмедович*** – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, lts.pto@yandex.ru
- Knyazev Evgeniy*** – Undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, fa1m3eee@gmail.com
- Blinnikov Mikhail*** – Postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, michael2102@mail.ru
- Pirmagomedov Rustam*** – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, lts.pto@yandex.ru