

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ IEEE 802.11ah ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ МЕЖДУ АВТОНОМНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ В КОНТЕКСТЕ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ»

В. И. Петров¹, А. Я. Омётов¹,
С. Д. Андреев², Е. А. Кучерявый³

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

² Российский университет дружбы народов, Москва, 117198, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва, 101000, Российская Федерация

Адрес для переписки: alexander.ometov@gmail.com

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.01.16, принята к печати 29.02.16.

Ссылка для цитирования: Петров В. И., Омётов А. Я., Андреев С. Д., Кучерявый Е. А. Исследование энергоэффективности технологии IEEE 802.11ah для передачи данных между автономными устройствами в контексте «Интернета Вещей» // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 1. С. 1–8.

Аннотация

В данной работе рассматривается новая технология беспроводной связи для Интернета Вещей, IEEE 802.11ah, предназначенная для использования в сценариях с большим числом автономных устройств и в настоящий момент находящаяся в процессе стандартизации. Исходя из специфики своего применения, данная технология должна обеспечивать высокую энергоэффективность при передаче редких сообщений малого размера от большого числа автономных устройств на сравнительно дальние расстояния (до 1 км). В данной работе представлены результаты исследования технологии IEEE 802.11ah с точки зрения энергопотребления и максимального числа обслуживаемых автономных устройств.

Ключевые слова

IEEE802.11ah, Интернет Вещей, беспроводные сети, MAC.



ANALYZING IEEE 802.11AH ENERGY EFFICIENCY FOR THE INTERNET OF THINGS UTILIZATION

V. Petrov¹, A. Ometov¹, S. Andreev², Y. Koucheryavy³

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

² RUDN University, Moscow, 117198, Russian Federation

³ National Research University Higher School of Economics, Moscow, 101000, Russian Federation

Corresponding author: alexander.ometov@gmail.com

Article info

Article in Russian.

Received 27.01.16, accepted 29.02.16.

For citation: Petrov V., Ometov A., Andreev S., Koucheryavy Y.: Analyzing IEEE 802.11AH Energy Efficiency for the Internet of Things Utilization // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 1. pp. 1–8 (in Russian).

Abstract

In this paper, we review a novel IEEE 802.11ah technology, which is currently being standardized to efficiently support a plethora of prospective machine-to-machine (M2M) applications. In contrast to conventional human-to-human communications, the M2M scenarios are often characterized by their small-size and infrequent traffic, stringent power requirements, large device population, and longer transmission ranges. To address these specific challenges, the emerging IEEE 802.11ah specifications are proposing a number of improvements to augment the conventional IEEE 802.11 technology. We study the achievable energy efficiency and the number of supported devices for a reference M2M scenario by taking into account the characteristic IEEE 802.11ah parameters.

Keywords

IEEE 802.11ah, Internet of Things, wireless networks, MAC.

Введение

Влияние беспроводных сетей на человечество в последние годы приобретает все большее значение. Например, в ходе Международного Форума по Исследованиям в Сфере Беспроводных Технологий был представлен впечатляющий прогноз о потенциальном использовании 7 миллиардов умных устройств с интерфейсом беспроводной связи уже к 2020 году [1]. Таким образом, научное сообщество ожидает становление концепции Интернета Вещей (IoT) как доступного в любой момент времени и в любом месте земного шара средства для связи всевозможных устройств [2].

Стоит отметить, что при исследовании технологии IoT разнообразные технические устройства считаются практически полностью автономными и, как следствие, функционирующими без постоянного вмешательства человека. Такой тип коммуникаций, как принято в недавней литературе, обозначается термином Межмашинное взаимодействие (M2M) [3]. Беспроводная связь M2M позволяет раскрыть широкий потенциал эффективного использования коммуникаций в различных сценариях, таких как здравоохранение, «умные» сети электроснабжения, удаленный мониторинг состояния объектов и прочие [4]. Таким образом, высокое число M2M устройств должно быть обеспечено качественным соединением с сетью Интернет с целью поддержания функционирования системы в целом.



В то же время, операторы связи оказываются в затруднительном положении, поскольку сотовые сети, какими мы их знаем, были разработаны преимущественно для использования их людьми [5]. Иными словами, основным типом передаваемых данных был голосовой/видео поток, а также различный Интернет-трафик. Сенсор IoT, в свою очередь, передает короткие сообщения (<10 кб) единожды за достаточно длительный промежуток времени (1–10 сек) [6]. С другой стороны, количество устройств на единицу площади может достигать тысяч, что приводит к проблеме контроля доступа к среде, так как повторная передача сообщения для автономного устройства без постоянного источника электропитания может пагубно отразиться на энергоэффективности всей системы.

Важно отметить, что использование сотового канала связи для обслуживания сенсорных устройств имеет свои ограничения ввиду больших энергозатрат на передачу сообщения [7]. В то же время, беспроводные технологии связи относительно короткого радиуса действия являются более приемлемыми для использования в сценариях IoT. Данная работа ставит своей целью исследование нового протокола связи IEEE 802.11ah, потенциально используемого для обслуживания большого числа автономных устройств на обширных площадях [8].

Описание технологии IEEE 802.11ah

Огромное количество всевозможных устройств IoT ставит перед операторами сложную задачу выбора беспроводной технологии связи, обеспечивающую функционирование целевых систем. С одной стороны, сотовые сети, такие как 3GPP LTE, имеют высокую сложность функционирования и дороги в разработке и эксплуатации. С другой стороны, «традиционные» M2M-технологии ZigBee, RFID и Bluetooth ограничены радиусом своего действия. Наиболее распространенная на сегодняшний день система связи IEEE 802.11 подвержена существенному влиянию интерференции ввиду использования ею популярных нелицензированных частот (2,4 и 5 ГГц) [9]. С учетом данного фактора, стандартизационный комитет IEEE пришел к заключению о необходимости перехода на менее нагруженную полосу частот до 1 ГГц для поддержки IoT-трафика.

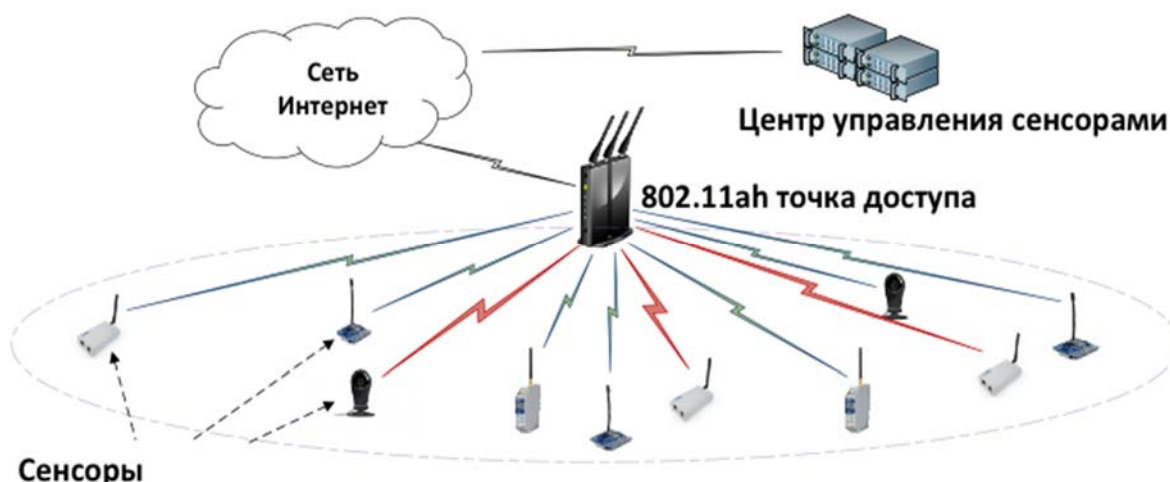


Рис. 1. Предлагаемая топология сети IEEE 802.11ah



В дополнение, целевая частота в 900 МГц менее подвержена влиянию затухания при распространении сигнала в среде, нежели классические решения 802.11, что позволяет транслировать сообщения на значительно большие расстояния (до 1 км). Топология сети рассматриваемого стандарта представлена на рис. 1. Она подразумевает наличие узла агрегации (точки доступа) и распределенных в зоне ее покрытия абонентских станций (автономных IoT-устройств). Максимальное заявленное число обслуживаемых устройств в 6000 должно иметь требуемую пропускную способность на физическом уровне в 100 кбит/сек [10]. Важно отметить при этом, что максимально достижимая пропускная способность системы по стандарту составляет 20 Мбит/сек [11]. Основным преимуществом рассматриваемой технологии является адаптивный алгоритм доступа к среде, позволяющий достигать низких показателей энергопотребления IoT-устройств.

Технология IEEE 802.11ah поддерживает два механизма доступа к общему беспроводному каналу: 1) с использованием расписания, когда точка доступа определяет очередность выхода устройств в канал; и 2) на основе случайного множественного доступа. Второй механизм позволяет системе связи корректно функционировать даже в случае, если точка доступа изначально не владеет информацией о количестве/составе автономных устройств, которые к ней подключены. В то же время, данный механизм является более сложным с точки зрения обеспечения требуемого уровня энергоэффективности, и, следовательно, более интересным для анализа. В данной работе рассматривается именно случайный множественный доступ IoT-устройств (например, сенсоров) к общему каналу связи по технологии IEEE 802.11ah. Основные элементы соответствующего протокола случайного множественного доступа представлены на рис. 2.

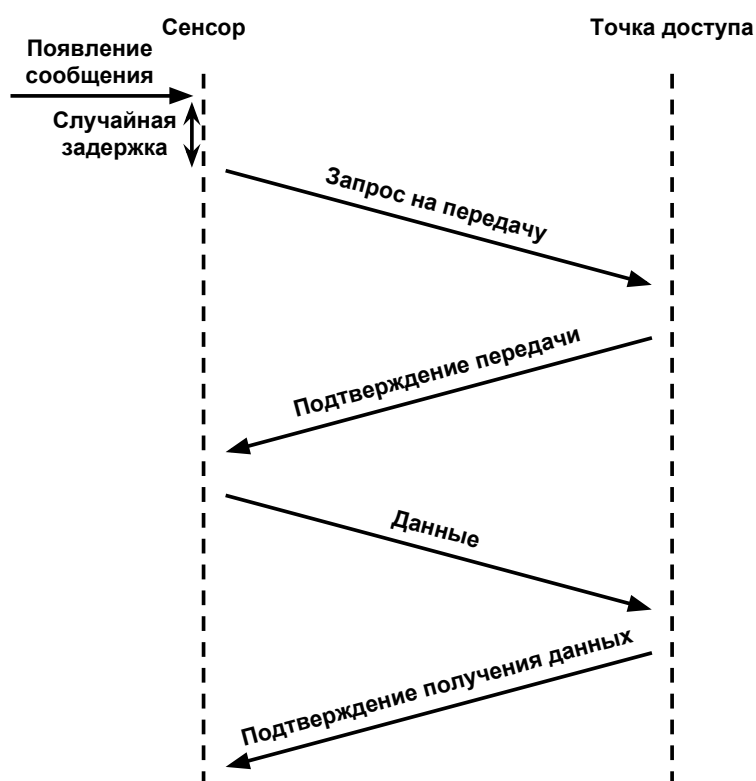


Рис. 2. Основные элементы протокола случайного доступа в IEEE 802.11ah



Имитационная модель

Для исследования потенциальных преимуществ протокола IEEE 802.11ah была разработана программа имитационного моделирования, соответствующая текущей версии стандарта. В данной работе рассматривается энергоэффективность системы в целом как одна из наиболее интересных метрик для IoT-приложений. Стандартизационная группа, работающая над IEEE 802.11ah, позиционирует свой протокол как рекомендованный для устройств с низким энергопотреблением, что и исследуется далее. Основные параметры абонентского устройства для состояний передачи, приема и ожидания представлены в таблице.

Таблица.

Рассматриваемые значения параметров для IEEE 802.11ah

Параметр	Значение
Несущая частота	900 МГц
Мощность передачи	0 дБм
Коэффициент усиления при передаче	0 дБи
Коэффициент усиления при приеме	3 дБи
Коэффициент шума	3 дБ
Модуляционное кодирование	BPSK
Использованные размеры пакетов	256/1000 бит
Потребляемая мощность в режиме ожидания	1,35 мВт
Потребляемая мощность при приеме	1,5 мВт
Потребляемая мощность при передаче	2,55 мВт
Требуемое соотношение сигнал/шум для получения вероятности ошибки 0,1 без использования кодирования	10 дБ
Требуемое соотношение сигнал/шум для получения вероятности ошибки 0,1 при использовании кодирования	2 дБ

Результаты моделирования

Результаты моделирования работы системы в режиме насыщения представлены на рис. 3 и 4. Как можно заметить на рис. 3, при передаче сообщений длиной 1000 бит сенсор находится в «полезном» состоянии (передача) существенно большую долю времени, нежели в случае длины пакета в 256 бит. Следовательно, передача данных пакетами по 1000 бит является более энергоэффективной, чем передача пакетами меньшего размера в аналогичных условиях. Однако, при передаче сообщений большего размера прослеживается тенденция к снижению максимального числа одновременно обслуживаемых устройств одной точкой доступа, как показано на рис. 4.

Заключение

В данной работе было проведено упрощенное исследование энергоэффективности технологии IEEE 802.11ah для обслуживания автономных устройств в контексте Интернета Вещей. Полученные результаты позволяют сделать вывод



о высокой степени масштабируемости технологии. Система связи на основе IEEE 802.11ah способна поддерживать до нескольких сотен одновременно работающих устройств даже в предельных режимах их работы (в насыщении), что выгодно отличает ее от более ранних версий технологии IEEE 802.11.

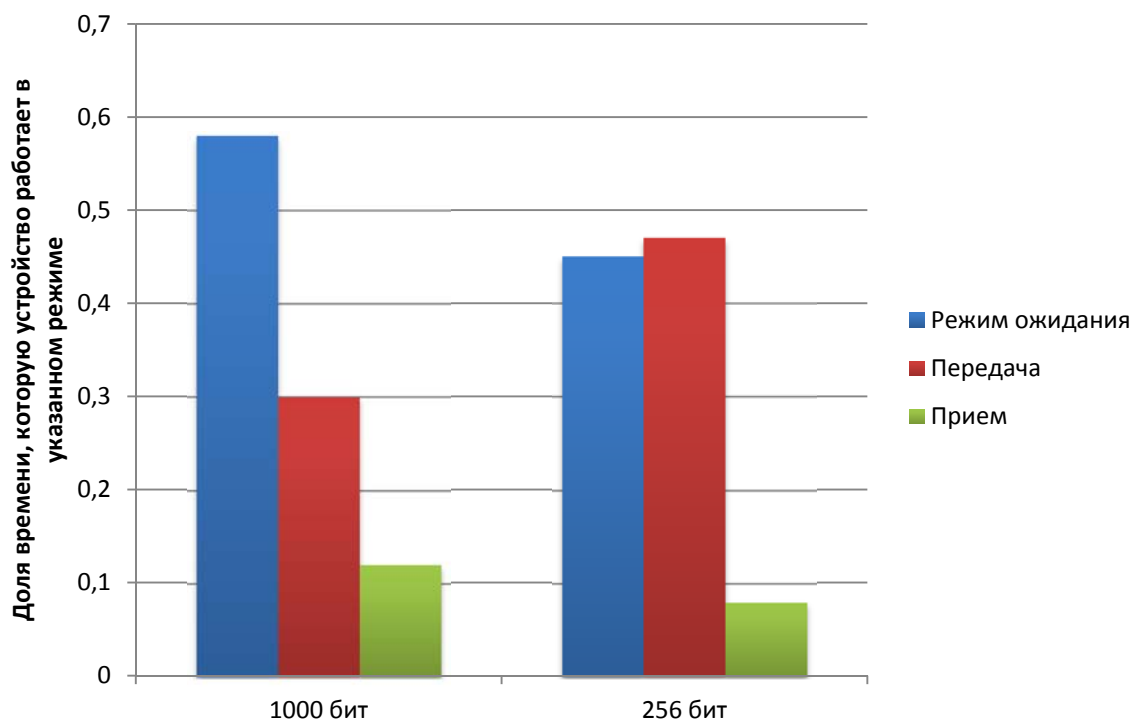


Рис. 3. Распределение времени нахождения автономного устройства в одном из указанных состояний при использовании технологии IEEE 802.11ah с параметрами из таблицы

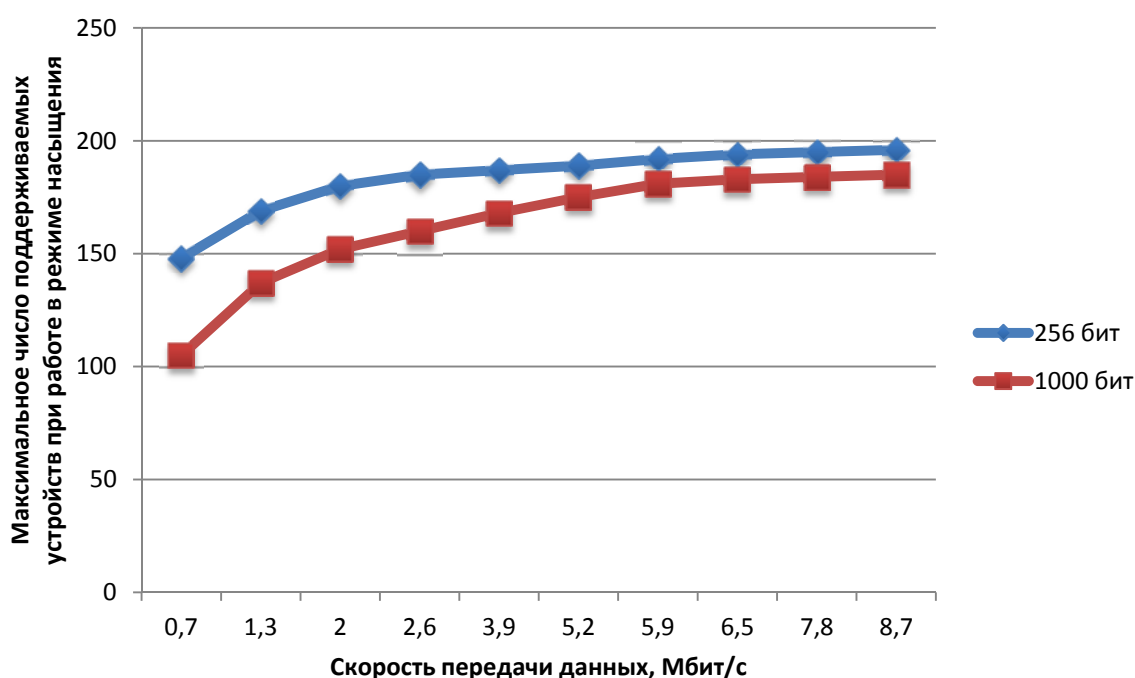


Рис. 4. Оценка максимального числа одновременно обслуживаемых устройств в режиме насыщения при использовании технологии IEEE 802.11ah с параметрами из таблицы



Исследование проводится при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках программы «УМНИК» по договору 8268ГУ2015 от 02.12.2015.

Литература

1. Sørensen L. T. (Ed.), Skouby K. E. (Ed.), Dietterle D., Jhunhunwala A., Fu X., & Wang X. (Visions and research direction for the wireless world // Wireless World Research Forum. 2009. N 4.
2. Zhang Y., Yu R., Nekovee M., Liu Y., Xie S., Gjessing S. Cognitive Machine-to-Machine Communications: Visions and Potentials for the Smart Grid // IEEE Network. 2012. Vol. 26. pp. 6–13.
3. Cho H. Machine to Machine (M2M) Communications Technical Report. IEEE 802.16p-10/0005. – 2010.
4. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. No 1. С. 21–24.
5. Zheng K., Hu F., Wang W., Xiang W., Dohler M. Radio resource allocation in LTE-advanced cellular networks with M2M communications // Communications Magazine. IEEE. 2012. Vol. 50. pp. 184–192.
6. Eastlake D. Proposed TGah Draft Amendment // IEEE LB Working Group Ballot Comments. – 2016.
7. Andreev S., Larmo A., Gerasimenko M., Petrov V., Galinina O., Tirronen T., Torsner J., Koucheryavy Y. Efficient Small Data Access for Machine-Type Communications in LTE // In the Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC). 2013.
8. Adame T., Bel A., Bellalta B., Barcelo J., Oliver M. IEEE 802.11ah: the WiFi approach for M2M communications // IEEE Wireless Communications. 2014. Vol. 21. pp. 144–152.
9. Gerasimenko M., Petrov V., Galinina O., Andreev S., Koucheryavy Y. Impact of machine-type communications on energy and delay performance of random access channel in LTE-advanced // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 2013. pp. 366–377.
10. Khorov E., Krotov A., Lyakhov A. Modelling machine type communication in IEEE 802.11ah networks // In Proc. of International Conference on Communication Workshop (ICCW), IEEE. 2015. pp. 1149–1154.
11. Adame T., Bel A., Bellalta B., Barcelo J., Gonzalez J., Oliver M. Capacity Analysis of IEEE 802.11ah WLANs for M2M Communications // In Multiple Access Communications, Springer International Publishing. 2013. pp. 139–155.

References

1. Sørensen L. T. (Ed.), Skouby K. E. (Ed.), Dietterle D., Jhunhunwala A., Fu X., & Wang X. (Visions and research direction for the wireless world // Wireless World Research Forum. 2009. N 4.
2. Zhang Y., Yu R., Nekovee M., Liu Y., Xie S., Gjessing S. Cognitive Machine-to-Machine Communications: Visions and Potentials for the Smart Grid // IEEE Network. 2012. Vol. 26. pp. 6–13.
3. Cho H. Machine to Machine (M2M) Communications Technical Report. IEEE 802.16p-10/0005. – 2010.
4. Kucheryavy A. E. The Internet of Things // Elektrosvyaz'. 2013. № 1. pp. 21–24.
5. Zheng K., Hu F., Wang W., Xiang W., Dohler M. Radio resource allocation in LTE-advanced cellular networks with M2M communications // Communications Magazine. IEEE. 2012. Vol. 50. pp. 184–192.
6. Eastlake D. Proposed TGah Draft Amendment // IEEE LB Working Group Ballot Comments. – 2016.
7. Andreev S., Larmo A., Gerasimenko M., Petrov V., Galinina O., Tirronen T., Torsner J., Koucheryavy Y. Efficient Small Data Access for Machine-Type Communications in LTE // In the Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC). 2013.
8. Adame T., Bel A., Bellalta B., Barcelo J., Oliver M. IEEE 802.11ah: the WiFi approach for M2M communications // IEEE Wireless Communications. 2014. Vol. 21. pp. 144–152.
9. Gerasimenko M., Petrov V., Galinina O., Andreev S., Koucheryavy Y. Impact of machine-type communications on energy and delay performance of random access channel in LTE-advanced // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 2013. pp. 366–377.



10. Khorov E., Krotov A., Lyakhov A. Modelling machine type communication in IEEE 802.11ah networks // In Proc. of International Conference on Communication Workshop (ICCW), IEEE. 2015. pp. 1149–1154.

11. Adame T., Bel A., Bellalta B., Barcelo J., Gonzalez J., Oliver M. Capacity Analysis of IEEE 802.11ah WLANs for M2M Communications // In Multiple Access Communications, Springer International Publishing. 2013. pp. 139–155.

Петров Виталий Игоревич

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, vit.petrov@gmail.com

Омётов Александр Ярославич

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, alexander.ometov@gmail.com

Андреев Сергей Дмитриевич

– кандидат технических наук, Ph.D., доцент Российского университета дружбы народов, Москва, 117198, Российская Федерация, serge.andreev@gmail.com

Кучерявый Евгений Андреевич

– кандидат технических наук, Ph.D., профессор Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва, 101000, Российская Федерация, ykoucheryavy@hse.ru

Petrov Vitaly

– postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, vit.petrov@gmail.com

Ometov Aleksandr

– postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, alexander.ometov@gmail.com

Andreev Sergey

– Ph.D., assistant professor, RUDN University, Moscow, 117198, Russian Federation, serge.andreev@gmail.com

Koucheryavy Yevgeni

– Ph.D., professor, National Research University Higher School of Economics, Moscow, 101000, Russian Federation, ykoucheryavy@hse.ru