

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СЕТЕЙ СВЯЗИ НА 2017–2020 ГОДЫ

А. Е. Кучеряый¹, А. Г. Владыко¹, Р. В. Киричек^{1*}, М. А. Маколкина¹,
А. И. Парамонов¹, А. И. Выборнова¹, Р. Я. Пирмагомедов¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

Аннотация

Рассмотрены основные направления научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы, а также видимые на сегодняшний день задачи, требующие решения для успешного внедрения новых сетевых технологий. Постановка задач основана на опыте исследований, проведенных авторами за последние 15 лет.

Ключевые слова

тактильный интернет, дополненная реальность, летающие сети, сети пятого поколения, программно-конфигурируемые сети, наносети.

Информация о статье

УДК 004.7:621.39

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 04.07.16, принята к печати 26.08.16.

Ссылка для цитирования: Кучеряый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Маколкина М. А., Парамонов А. И., Выборнова А. И., Пирмагомедов Р. Я. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 3. С. 1–14.

THE PROSPECTS FOR RESEARCH IN THE FIELD OF COMMUNICATIONS NETWORKS ON THE 2017–2020 YEARS

A. Koucheryavy¹, A. Vladyko¹, R. Kirichek^{1*}, M. Makolkina¹,
A. Paramonov¹, A. Vybornova¹, R. Pirmagomedov¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: kirichek@sut.ru

Abstract—This paper gives the main lines of research in the field of communications networks on the 2017–2020 years, and visible today problems to be addressed for the successful introduction of new network technologies. The targets are set based on the experience of research conducted by the authors in the past 15 years.

Keywords—Tactile Internet, augmented reality, flying networks, 5G, SDN, nanonetwork.

Article info

Article in Russian.

Received 04.07.16, accepted 26.08.16.

For citation: Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R., Makolkina M., Paramonov A., Vybornova A., Pirmagomedov R.: The prospects for research in the field of communications networks on the 2017–2020 years // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 3. pp. 1–14 (in Russian).

Введение

Предлагаемая вниманию читателей статья основана на опыте научных исследований в области сетей связи в последние 15 лет, проведенных авторами в институтах ЛОНИС и ЦНИИС, в ОАО «Гипросвязь» и в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ). Основная цель статьи – определение перспективных научных исследований на 2017–2020 гг., что должно помочь аспирантам и магистрам в области сетей связи правильно выбрать тематику исследований, с пользой проводя время обучения в аспирантуре и магистратуре соответственно.

Беспроводные сенсорные сети и Интернет Вещей

В начале XXI в. исследования в области сетей связи в Российской Федерации были сконцентрированы, в основном, на решении задач, связанных с созданием и внедрением сетей связи следующего поколения NGN (*Next Generation Networks*). Это была скорее необходимость, связанная с модернизацией сетей связи общего пользования (ССОП), чем переход научных исследований на новый уровень. Вместе с тем, в это время удалось сформировать достаточно точные научно-обоснованные представления о сетях связи следующего поколения [1] и даже опубликовать ряд работ по этой тематике на международных конференциях, входивших в список IEEE [2, 3, 4, 5].

Коренной перелом в научно-исследовательской деятельности произошел в 2005 году при публикации фундаментальной статьи [6], что позволило сформировать понимание необходимости концентрации научных исследований в дальнейшем на самоорганизующихся сетях, основными из которых для сетей связи общего пользования предлагалось считать беспроводные сенсорные сети [7, 8]. Это позволило к началу второго десятилетия XXI в. опубликовать статьи, которые имели уже достаточно хорошее цитирование у иностранных ученых [9, 10] и начать публикации результатов научных исследований в известной книжной серии *Lecture Notes in Computer Sciences*¹ [11].

¹ *Lecture Notes in Computer Science* (LNCS) – престижная книжная серия выпускаемая издательством Springer (Германия) с 1973 г. (к концу 2016 г. издано свыше 10 тысяч выпусков-томов). LNCS публикует результаты научных исследований в области компьютерных наук, как правило в формате избранных трудов международных научных конференций, монографий, обзорных статей и срочных сообщений.

Сказанное выше и появившийся научный опыт позволили не только реально войти в мировой научно-исследовательский процесс, но и вовремя понять значение концепции Интернета Вещей (*Internet of Things*, IoT) для развития сетей связи. Научно-исследовательские работы по Интернету Вещей начались на кафедре сетей связи СПбГУТ в 2010 г., а уже в 2011 была опубликована книга [12], в которой были представлены и концепция Интернета Вещей, и не получившая далее широкого развития концепция *Web of Things*. Существенный вклад в общее понимание концепции Интернета Вещей и доведение этого понимания до научной общественности, а затем и широких слоев общества внесли книги [13, 14].

Проведенные в области Интернета Вещей научные исследования позволили не только полноценно войти в мировой научно-исследовательский процесс, но и существенно поднять престиж научной школы в Российской Федерации. По тематике Интернета Вещей было выиграно достаточно много грантов Российского фонда фундаментальных исследований, команды студентов, магистров, аспирантов и молодых кандидатов наук многократно побеждали в престижных хакатонах.

За рубежом расширилась сеть публикаций в журналах *Lecture Notes in Electrical Engineering* [15, 16, 17], *Communications in Computer and Information Science* [18, 19]. Публикации в *Lecture Notes in Computer Sciences* стали носить постоянный характер [20, 21, 22, 23, 24, 25]. Появились публикации магистров кафедры в изданиях, входящих в базу данных Scopus [26, 27, 28, 29].

Однако тематика Интернета Вещей в концептуальном плане постепенно исчерпывает себя, что естественно, и в настоящее время требуется определить новые направления научных исследований на ближайшие годы, учитывая сложившийся уровень их развития на кафедре и соответствующую лабораторную базу. Это и есть основная задача данной публикации. Начнем далее с Тактильного Интернета.

Тактильный Интернет

Технологии Тактильного Интернета должны обеспечить передачу по сетям связи тактильных ощущений. Такое предназначение Тактильного Интернета может привести к принципиальному изменению и архитектуры, и характеристик качества обслуживания и качества восприятия сетей связи. Действительно, услуги Тактильного Интернета требуют обеспечения задержки из конца в конец величиной в 1 мс. Эти сети назвали сетями со сверхмальными задержками и в настоящее время осуществляются попытки осмысления их архитектуры [30, 31]. При таких задержках сеть должна быть подвергнута децентрализации, что не может не сказатьсь на архитектурных характеристиках такой сети. К настоящему времени на кафедре предложена новая мультиуровневая архитектура сети для предоставления услуг Тактильного Интернета, результаты исследований приняты к публикации в трудах 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT 2017) [32]. Помимо этого, внедрение Тактильного Интернета потребует создания новых кодеков для тактильной информации, новых протоколов, позволяющих не только максимально сократить задержку передачи данных, но и синхронизировать поток тактильной информации с потоками видео и аудиоинформации. Современные протоколы

передачи данных не предназначены для передачи данных со сверхмалыми задержками, потому потребуется доработка или создание новых протоколов². На ближайшие 4 года это направление научно-исследовательских работ должно стать одним из основных.

Дополненная реальность

Дополненная реальность представляет собой достаточно известную услугу для отдельного пользователя и практически совершенно неизученное приложение для сети связи с точки зрения моделей и характеристик трафика, а также взаимодействия с Интернетом Вещей и Тактильным Интернетом. Научно-исследовательская деятельность в области дополненной реальности и сетей связи настолько нова, что даже постановка некоторых задач, например, исследования изменения значения параметра Херста при управлении беспилотным летательным аппаратом с помощью очков дополненной реальности также неожиданно, как и результаты [33]. Это еще одно важнейшее направление работ кафедры на ближайшие 4 года.

Летающие сети

Согласно прогноза компании Sunflower Labs³ беспилотный летательный аппарат станет одним из элементов современного умного дома уже в 2020 г. и будет использоваться для охраны территории, доставки продуктов и корреспонденции. Уже сейчас беспилотные летательные аппараты на базе квадрокоптеров общего пользования получили широкое распространение в различных сферах жизнедеятельности. В 2014 г. в СПбГУТ на базе лаборатории Интернета вещей⁴ были начаты экспериментальные работы по использованию одного или нескольких квадрокоптеров для сбора данных с наземного сегмента, представленного в виде беспроводной сенсорной сети. За два года исследований были получены теоретические и практические результаты [34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48], которые были представлены в отчете по научному проекту РФФИ № 15-07-09431а «Разработка принципов построения и методов самоорганизации для летающих сенсорных сетей». В 2016 г. в связи с активным развитием робототехнических комплексов и систем они были включены в разряд приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Таким образом, был расширен спектр задач, который решается с помощью летающих сетей, а именно: взаимодействие мультиагентных робототехнических комплексов с использованием БПЛА [49]. С учетом специфики взаимодействия наземного и летающего сегментов в [50] была представлена программно-конфигурируемая архитектура построения летающей сенсорной сети. Данная архитектура может быть использована в сетях пятого поколения для обеспечения связности устройств интернета вещей, находящихся в отдаленных районах с сетью связи общего пользования.

² Maier M., Chowdhury M., Rimal B. P., and Van D. P., "The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges," *IEEE Communications Magazine*, 54 (5), pp. 138–145. 2016. doi:10.1109/MCOM.2016.7470948

³ Sunflower Labs: <https://sunflower-labs.com>

⁴ Лаборатория Интернета Вещей СПбГУТ: <http://iotlab.ru>

Сети пятого поколения

Все вышесказанное в той или иной мере касается сетей связи пятого поколения. Так, например, с одной стороны услуги Тактильного Интернета в полном объеме могут быть реализованы только в сетях 5G. С другой стороны, без технологии Тактильного Интернета и требования к сетям 5G были бы совсем другими. Кафедра сетей связи и передачи данных (ССиПД) СПбГУТ в настоящее время имеет ряд работ в области сетей связи пятого поколения [51, 52]. Однако полновесное исследование сетей связи пятого поколения возможно только при создании модельной сети 5G, что, безусловно, является важнейшей задачей на ближайшие 2 года. В заключении данного раздела отметим, что сети 5G в настоящее время уже не рассматриваются как новое поколение мобильных сетей, а оцениваются как новое поколение сетей связи в целом.

Программно-конфигурируемые сети

Программно-конфигурируемые или программно-определяемые сети (*Software-Defined Networking, SDN*) в настоящее время можно рассматривать в качестве перспективной сетевой технологии, которая организована за счет физического разделения плоскости сетевого управления и плоскости передачи данных. Обладая достаточной управляемостью и адаптивностью, хорошими динамическими характеристиками и будучи экономически эффективной, SDN-технология позволяет обеспечивать высокую пропускную способность сети и поддерживать динамический характер современных IT-приложений.

Концепция программируемого управления в сетях связи сама по себе не нова, вопросы динамического подключения и настройки различных компонентов сети исследуются начиная с 1995 г. (с выпуска *Sun Microsystems* первого релиза *Java*), но только теперь появились необходимые вычислительные мощности, чтобы выстроить эффективное использование данной технологией.

Тенденции повсеместного перехода к SDN прослеживается не только в академических исследованиях мирового научного сообщества, но и в технических решений IT-индустрии. Многие крупные вендоры активно поддерживают функциональные возможности SDN. В таблице приведены лишь некоторые SDN-продукты, предлагаемые известными производителями телекоммуникационного оборудования.

Таблица
SDN-продукты

SDN-контроллер	Производитель
Cisco Application Policy Infrastructure Controller	Cisco Systems
Juniper Networks Contrail	Juniper Networks, Inc.
Dell Active Fabric Manager	Dell
NEC ProgrammableFlow PF6800 Controller	NEC
HPE Carrier SDN Controller	Hewlett Packard Enterprise
Virtuora Network Controller	Fujitsu
Huawei Agile Controller	Huawei
Coriant Transcend SDN Solution	Coriant

Стоит отметить и отечественных производителей, таких как Zelax, Brain4Net, RunSDN, сконцентрированных на развитие SDN-продуктов, что, безусловно, важно в условиях общего вектора России на импортозамещение. Кроме этого, известные поставщики услуг разворачивают сервисы с поддержкой SDN, например, проекты Google B4⁵ и Microsoft SWAN⁶.

В телекоммуникационном научном сообществе SDN-тенденция за последние несколько лет приобрела, по сути, формат мейнстрима. Результаты исследований по SDN были представлены на международных научных форумах топ-уровня, таких как SIGCOMM, GLOBECOM, INFOCOM, NEW2AN, ICACT и др.

Запрос в Google Scholar с тегом "Software-Defined Networking" выдает около 16 тысяч результатов, опубликованных начиная с 2013 г. Фундаментальный обзор научной литературы по SDN, представленный в *Studies in Computational Intelligence*⁷ выявил **310** наиболее цитируемых публикаций в данной области. В данный обзор справедливо вошла публикация и нашей научной школы [53]. Таким образом, SDN сейчас является ключевым игроком в области сетевых технологий, и становится очевидно, что исследователи, должны уделять больше внимания этой области.

Следует отметить, что кафедрой ССиПД создан неплохой мировой научный задел по SDN: предложены оригинальные архитектурные решения [54], включая применение к IoT [28] и к летающим сенсорным сетям [50]; проведены исследования по управлению трафиком [55, 56] и SDN-безопасности [53, 57].

Тем не менее, развитие IT-технологий потребует в ближайшее время проведение полновесных исследований по отдельному классу программно-конфигурируемых сетевых систем (SDsys) стандарта 5G. В том числе в программно-конфигурируемом Интернете Вещей (SDIoT), с выделением прикладных задач по программно-конфигурируемым подсистемам сетевой безопасности (SDIoTsec) и облачных хранилищ (SDIoTclo). Кроме этого весьма актуальными являются задачи связной поддержки программно-конфигурируемого мультиагентного взаимодействия (SDmac) и построение SDsys для управления большими самоорганизующимися сетями.

Наносети

Развитие нанотехнологий и концепции Интернета Вещей [12] привело к появлению нового термина – «Наносети» (иногда употребляется синоним «Интернет Нановещей») [58]. Этот термин используется для обозначения вычислительных сетей, в которых узлы (наномашины) имеют микроскопические размеры и позволяют осуществлять взаимодействие с процессами, протекающими наnanoуровне [59]. Создание наномашин во многом стало возможно благодаря уникальным свойствам инновационных материалов, открытых в последние десятилетия. Одним из наиболее ярких примеров таких материалов можно считать графен. Тема создания наномашин не ограничивается использованием

⁵ Google B4: Jain, S., et al. "B4: Experience with a Globally-Deployed Software Defined WAN", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 43(4), pp. 3–14. 2013. doi:10.1145/2534169.2486019.

⁶ Microsoft SWAN: <https://www.microsoft.com/en-us/research/video/swan-software-driven-wide-area-network>.

⁷ Alsmadi I. M., AlAzzam I., Akour M. "A Systematic Literature Review on Software-Defined Networking," *Studies in Computational Intelligence*, vol. 691, pp. 333–369. 2017. doi:10.1007/978-3-319-44257-0_14.

лишь электронных компонентов. Активно исследуются вопросы создания наносетей с использованием биологических компонентов – биологических наносетей [60]. В такого рода сетях в качестве устройств могут выступать биологические клетки и органы организма. Наносети имеют особенную важность для развития медицинских технологий, поэтому в качестве приоритетного направления исследований было решено выбрать медицинские приложения. В рамках проведенных исследований предложена модель приложения Интернета Вещей, основанного на интеграции биоинформационного потока в Интернет [61]. Рассмотрена совокупность факторов, определяющих максимально допустимый временной интервал между событием в организме и реакцией на него со стороны медицинского приложения реального времени (*Real-time medical application*). Разработан комплекс рекомендаций по снижению задержки [62].

Отдельного внимания заслуживают результаты симуляции трафика медицинского приложения [63]. Проведенная симуляция позволила обнаружить две принципиальные проблемы, которые должны быть решены, для того чтобы медицинские наносетевые приложения могли работать через интернет. Первая проблема обусловлена высоким риском перегрузки сети, трафиком медицинского приложения, при работе нательного шлюза в режиме «без накопления и обработки пакетов от наноустройств». Вторая проблема заключается в недопустимо высоких значениях задержки при работе нательного шлюза в режиме «с обработкой сообщений от наноустройств». Решению этих противоречивых проблем планируется посвятить дальнейшие исследования по данной теме.

Выводы

1. Научно-исследовательские работы в области концепции Интернета Вещей и беспроводных сенсорных сетей практически завершены.
2. На ближайшую перспективу до 2017–2020 гг. основными направлениями научно-исследовательской деятельности в области сетей связи будут являться Тактильный Интернет, дополненная реальность, летающие сети, сети пятого поколения, программно-конфигурируемые сети для всех вышеуказанных направлений и наносети.

Литература

1. КучерявыЙ А. Е., Гильченок Л. З., Иванов А. Ю. Пакетная сеть связи общего пользования. СПб.: Наука и Техника, 2004. 272 с. ISBN 5-94387-118-7.
2. Koucheryavy A. E., Fedoseev A. P., Nesterenko V. D., Gilchenok L. Z., Pyattaev V. O. NGN Trials on Russian Public Networks // The 6th International Conference on Advanced Communication Technology, 2004, vol. 2, pp. 123–125.
3. Koucheryavy A., Gilchenok L., Piattaev V. New solutions for the rural telecommunication development // ITU Telecom World: Forum Proceedings, 2003, pp. 1–3.
4. Koucheryavy A., Vasiliev A., Lee K. O. Methods of Testing the NGN Technical Facilities // The 7th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, 2005, vol. 1, pp. 317–319.
5. Koucheryavy Y., Vasiliev A. B., Soloviev S. P., Koucheryavy A. E. The Public Packet-Switched Network with Guaranteed QoS Based on DiffServ Domains Hierarchy // The 8th International Conference Advanced Communication Technology, ICACT, 2006, pp. 87–90.
6. КучерявыЙ А. Е., КучерявыЙ Е. А. От е-России к и-России: тенденции развития электросвязи // Электросвязь, 2005, № 5. С. 10–11.
7. КучерявыЙ А. Е., Парамонов А. И., КучерявыЙ Е. А. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта. М.: ФГУП ЦНИИС, 2008. 296 с. ISBN 5-00-000831-6.

8. Кучерявый А. Е. Сенсорные сети как перспективное направление развития телекоммуникаций // 59-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава СПбГУТ, 2007. С. 5–7.
9. Koucheryavy A., Salim A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks // 11th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, 2009, pp. 2141–2146.
10. Koucheryavy A., Salim A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks // The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2010, pp. 1209–1215.
11. Paramonov A., Tarasov D., Koucheryavy A. The Video Streaming Monitoring in the Next Generation Network // Lecture Notes in Computer Science, 2009, vol. 5764, pp. 191–205.
12. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с. ISBN 978-5-86983-318-1.
13. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. Интернет Вещей. Сызрань: Ас Гард, 2014.
14. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. ISBN 978-5-9775-0900-8.
15. Kirichek R., Koucheryavy A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering, 2016, vol. 348, pp. 485–494.
16. Hoang T., Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Influence of intentional electromagnetic interference on the functioning of the terrestrial segment of flying ubiquitous sensor network // Lecture Notes in Electrical Engineering, 2016, vol. 376, pp. 1249–1259.
17. Dao N., Koucheryavy A., Paramonov A. Analysis of Routes in the Network based on a Swarm of UAVS // Lecture Notes in Electrical Engineering, 2016, vol. 376, pp. 1261–1271.
18. Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Swarm of public unmanned aerial vehicles as a queuing network // Communications in Computer and Information Science, 2016, vol. 601, pp. 111–120.
19. Kirichek R., Makolkina M., Sene J., Takhtuev V. Estimation quality parameters of transferring image and voice data over Zigbee in transparent mode // Communications in Computer and Information Science, 2016, Vol. 601, pp. 260–267.
20. Vybornova A., Koucheryavy A. Traffic Analysis in Target Tracking Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science, 2014, vol. 8638, pp. 389–398.
21. Koucheryavy A., Vladko A., Kirichek R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science, 2015, vol. 9247, pp. 299–308.
22. Al-Qadami N., Koucheryavy A. Coverage and Connectivity and Density Criteria in 2D and 3D Wireless Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science, 2015, vol. 9247, pp. 319–328.
23. Abakumov P., Koucheryavy A. Clustering Algorithm for 3D Wireless Mobile Sensor Network // Lecture Notes in Computer Science, 2015, vol. 9247, pp. 343–351.
24. Shilin P., Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Connectivity of VANET segments using UAVs // Lecture Notes in Computer Science, 2016, vol. 9870, pp. 492–500.
25. Nurilloev I., Paramonov A., Koucheryavy A. Connectivity estimation in wireless sensor networks // Lecture Notes in Computer Science, 2016, vol. 9870, pp. 269–277.
26. Kirichek R., Paramonov A., Vareldzhyan K. Optimization of the UAV-P's Motion Trajectory in Public Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN-P) // Lecture Notes in Computer Science, 2015, vol. 9247, pp. 352–366.
27. Kirichek R., Golubeva M., Kulik V., Koucheryavy A. The Home Network Traffic Model Investigation // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2016, pp. 97–100.
28. Kirichek R., Vladko A., Zakharov M., Koucheryavy A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2016, pp. 76–79.
29. Kirichek R., Kulik V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols// Communications in Computer and Information Science, 2016, vol. 678, pp. 442–453.
30. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмальыми задержками // Электросвязь, 2016, № 1. С. 44–46.

31. Кучерявый А. Е., Выборнова А. И. Тактильный Интернет // Сборник научных статей V Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», 2016, Т. 1. С. 6–11.
32. Ateya A. A., Vybornova A., Kirichek R., Koucheryavy A. Multilevel cloud based Tactile Internet system // 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2017, pp. 105–110.
33. Маколкина М. А., Тельтевская В. А., Кулик В. А., Киричек Р. В. Исследование взаимодействия приложений дополненной реальности и методов управления БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, Т. 4, № 2. С. 33–42.
34. Hoang T., Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Supernodes-based Solution for Terrestrial Segment of Flying Ubiquitous Sensor Network under Intentional Electromagnetic Interference // Lecture Notes in Computer Science, 2016, Vol. 9870, pp. 351–359.
35. Vybornova A., Paramonov A., Koucheryavy A. Analysis of the Packet Path Lengths in the Swarms for Flying Ubiquitous Sensor Networks // Communications in Computer and Information Science, 2016, vol. 678, pp. 361–368.
36. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В. Теоретические и практические направления исследований в области летающих сенсорных сетей // Электросвязь, 2015, № 7. С. 9–11.
37. Варельджян К. С., Парамонов А. И., Киричек Р. В. Оптимизация траектории движения БПЛА в летающих сенсорных сетях // Электросвязь, 2015, № 7. С. 20–25.
38. Разумов А. А., Киричек Р. В. Исследование устойчивости фрагмента летающей сенсорной сети к воздействию сверхкоротких электромагнитных импульсов // Электросвязь, 2015, № 9. С. 15–17.
39. Назаренко А. П., Сарьян В. К., Лутохин А. С. Использование летающих систем Интернета Вещей до, во время и после катастрофической фазы ЧС // Электросвязь, 2015, № 7. С. 12–15.
40. Хоанг Л. Ч., Киричек Р. В., Парамонов А. И. Влияние преднамеренных ЭМВ на функционирование наземного сегмента летающей сенсорной сети // Электросвязь, 2016, № 9. С. 41–47.
41. Футахи А., Парамонов А. И. Беспроводные сенсорные сети с мобильными временными головными узлами // Электросвязь, 2016, № 9. С. 48–54.
42. Шилин П. А., Киричек Р. В. Исследование использования БПЛА как временного узла сети VANET // Электросвязь, 2016, № 9. С. 54–57.
43. Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Quening System // 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2015, pp. 127–132.
44. Kirichek R., Grishin I., Okuneva D., Falin M. Development of a node positioning algorithm for wireless sensor networks in 3D space // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2016, pp. 279–282.
45. Киричек Р. В., Гришин И. В., Хундонугбо Э. Ф., Думин Д. И. Позиционирование элементов сенсорной сети с использованием беспилотных летательных аппаратов // Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, Т. 4, № 2. С. 26–32.
46. Шкляева А. В., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Методы тестирования летающих сенсорных сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016, Т. 4, № 2. С. 43–52.
47. Киричек Р. В., Ястребов Е. Е. Программно-аппаратный комплекс планирования автономных полетов для беспилотных летательных аппаратов общего пользования // Сборник научных статей V Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», 2016, Т. 1. С. 405–410.
48. Шкляева А. В., Киричек Р. В., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Сбор данных с наземного сегмента летающей сенсорной сети как система массового обслуживания // Интернет вещей и 5G, 2016. С. 12–16.
49. Vladko A., Paramonov A., Kirichek R., Koucheryavy A. Using the IEEE 802.11 Family of Standards for Communication Between Robotic Systems // Advances in Intelligent Systems Research, 2016, vol. 133, pp. 153–157.
50. Kirichek R., Vladko A., Paramonov A., Koucheryavy A. Software-Defined Architecture for Flying Ubiquitous Sensor Networking//19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2017, pp. 158–162.
51. Muthanna A., Mašek P., Hošek J., Fujdiak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless Systems // Lecture Notes in Computer Science, 2016, vol. 9870, pp. 395–403.

52. Гимадинов Р. Ф., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е. Кластеризация в мобильных сетях 5G. Случай частичной мобильности // Информационные технологии и телекоммуникации, 2015, № 2, С. 123–127.
53. Dotcenko S., Vladyko A., Letenko I. A fuzzy logic-based information security management for software-defined networks // 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2014, pp. 167–171.
54. Vladyko A., Muthanna A., Kirichek R. Comprehensive SDN Testing Based on Model Network // Lecture Notes in Computer Science, 2016, vol. 9870, pp. 539–549.
55. Vladyko A., Letenko I., Lezhepekov A., Buinevich M. Fuzzy Model of Dynamic Traffic Management in Software-Defined Mobile Networks // Lecture Notes in Computer Science, 2016, vol. 9870, pp. 561–570.
56. Lezhepekov A., Letenko I., Vladyko A. Software-Defined Routing in Convergent LTE/WiFi Networks // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2017, pp. 1–3.
57. Mostovich D., Fabrikantov P., Vladyko A., Buinevich M. High-Level Vulnerabilities of Software-Defined Networking in the Context of Telecommunication Network Evolution // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2017, pp. 1–3.
58. Кучерявый Е. А., Баласубраманиям С. Интернет нановещей и наносети // Электросвязь, 2014, № 4. С. 24–26.
59. Кучерявый А. Е. Введение в наносети // 66-я Научно-техническая конференция НТОРЭС им. Попова, труды конференции, Апрель, 2011. С. 186–187.
60. Пирмагомедов Р. Я., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Бактериальные наносети // Информационные технологии и телекоммуникации, 2015, № 2. С. 5–10.
61. Пирмагомедов Р. Я., Кучерявый Е. А., Глушаков Р. И., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Живые организмы в киберпространстве – проект Биодрайвер // Электросвязь, 2016, № 1. С. 47–52.
62. Pirmagomedov R., Hudoev I., Glushakov R., Kirichek R., Koucheryavy A. Analysis of Delays in Medical Applications of Nanonetworks // The 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2016, pp. 80–86.
63. Pirmagomedov R., Hudoev I., Shangina D. Simulation of Medical Sensor Nanonetwork Applications Traffic // Communications in Computer and Information Science, 2016, vol. 678, pp. 430–441.

References

1. Koucheryavy, A. E., Gilchenok, L. Z., Ivanov, A. Yu. Public Packet Communication Network. SPb.: Nauka i technika, 2004. 272 p. ISBN 5-94387-118-7.
2. Koucheryavy, A. E., Fedoseev, A. P., Nesterenko, V. D., Gilchenok, L. Z., Pyattaev, V. O. NGN Trials on Russian Public Networks // The 6th International Conference on Advanced Communication Technology. 2004. Vol. 2. pp. 123–125. DOI: 10.1109/ICACT.2004.1292841.
3. Koucheryavy, A., Gilchenok, L., Piattaev, V. New Solutions for the Rural Telecommunication Development // ITU Telecom World: Forum Proceedings. 2003. pp. 1–3.
4. Koucheryavy, A., Vasiliev, A., Lee, K. O. Methods of Testing the NGN Technical Facilities // The 7th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2005. Vol. 1. pp. 317–319. DOI: 10.1109/ICACT.2005.245859.
5. Koucheryavy, Y., Vasiliev, A. B., Soloviev, S. P., Koucheryavy, A. E. The Public Packet-Switched Network with Guaranteed QoS Based on DiffServ Domains Hierarchy // The 8th International Conference Advanced Communication Technology (ICACT). 2006. pp. 87–90. DOI: 10.1109/ICACT.2006.205925.
6. Koucheryavy, A. E., Koucheryavy, Y. A. From e-Russia to u-Russia: Communications Development Trends // Electrosvyaz'. 2005. No. 5. pp. 10–11.
7. Koucheryavy, A. E., Paramonov, A. I., Koucheryavy, Y. A. The Public Communication Network. Trends in the Development and Calculation Methods. M.: FGUP ZNIIS, 2008. 290 p. ISBN 5-00-000831-6.
8. Koucheryavy, A. E. Sensor Networks as a Perspective Direction of Development of Telecommunications // 59th scientific and technical conference of the faculty of SUT. 2007. pp. 5–7.

9. Koucheryavy, A., Salim, A. Cluster Head Selection for Homogeneous Wireless Sensor Networks // 11th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2009. pp. 2141–2146.
10. Koucheryavy, A., Salim, A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks // The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2010. pp. 1209–1215.
11. Paramonov, A., Tarasov, D., Koucheryavy, A. The Video Streaming Monitoring in the Next Generation Network // Lecture Notes in Computer Science. 2009. Vol. 5764. pp. 191–205. DOI: 10.1007/978-3-642-04190-7_18.
12. Koucheryavy, A. E., Prokopiev, A. V., Koucheryavy, Y. A. Self-Organizing Networks. SPb.: Lyubavich, 2011. 312 p. ISBN 978-5-86983-318-1.
13. Roslyakov, A. V., Vanyashin, S. V., Grebeshkov, A. Yu., Samsonov, M. Yu. Internet of Things. Samara: As Gard, 2014. 340 p.
14. Goldstein, B. S., Koucheryavy, A. E. Post-NGN Communication Networks. SPb.: BHV-Peterburg, 2013. 160 p. ISBN 978-5-9775-0900-8.
15. Kirichek, R., Koucheryavy, A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 348. pp. 485–494. DOI: 10.1007/978-81-322-2580-5_44.
16. Hoang, T., Kirichek, R., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Influence of Intentional Electromagnetic Interference on the Functioning of the Terrestrial Segment of Flying Ubiquitous Sensor Network // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 376. pp. 1249–1259. DOI: 10.1007/978-981-10-0557-2_118.
17. Dao, N., Koucheryavy, A., Paramonov, A. Analysis of Routes in the Network based on a Swarm of UAVs // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 376. pp. 1261–1271. DOI: 10.1007/978-981-10-0557-2_119.
18. Kirichek, R., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Swarm of Public Unmanned Aerial Vehicles as a Queuing Network // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 601. pp. 111–120. DOI: 10.1007/978-3-319-30843-2_12.
19. Kirichek, R., Makolkina, M., Sene, J., Takhtuev, V. Estimation Quality Parameters of Transferring Image and Voice Data over ZigBee in Transparent Mode // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 601. pp. 260–267. DOI: 10.1007/978-3-319-30843-2_27.
20. Vybornova, A., Koucheryavy, A. Traffic Analysis in Target Tracking Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8638. pp. 389–398. DOI: 10.1007/978-3-319-10353-2_34.
21. Koucheryavy, A., Vladko, A., Kirichek, R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9247. pp. 299–308. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_27.
22. Al-Qadami, N., Koucheryavy, A. Coverage and Connectivity and Density Criteria in 2D and 3D Wireless Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9247. pp. 319–328. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_29.
23. Abakumov, P., Koucheryavy, A. Clustering Algorithm for 3D Wireless Mobile Sensor Network // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9247. pp. 343–351. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_31.
24. Shilin, P., Kirichek, R., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Connectivity of VANET segments using UAVs // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 492–500. DOI: 10.1007/978-3-319-46301-8_41.
25. Nurilloev, I., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Connectivity Estimation in Wireless Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 269–277. DOI: 10.1007/978-3-319-46301-8_22.
26. Kirichek, R., Paramonov, A., Vareldzhyan, K. Optimization of the UAV-P's Motion Trajectory in Public Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN-P) // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9247. pp. 352–366. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_32.
27. Kirichek, R., Golubeva, M., Kulik, V., Koucheryavy, A. The Home Network Traffic Model Investigation // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 97–100. DOI: 10.1109/ICACT.2016.7423288.
28. Kirichek, R., Vladko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 76–79. DOI: 10.1109/ICACT.2016.7423280.

29. Kirichek, R., Kulik, V. Long-range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678, pp. 442–453. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_39.
30. Koucheryavy, A. E., Makolkina, M. A., Kirichek, R. V. Tactile Internet. Ultra Low Latency Communication Networks // Electrosvyaz'. 2016. No. 1. pp. 44–46.
31. Koucheryavy, A. E., Vybornova, A. I. Tactile Internet // 5th International Conference «Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education». 2016. Vol. 1. pp. 6–11.
32. Ateya, A. A., Vybornova, A., Kirichek, R., Koucheryavy, A. Multilevel Cloud Based Tactile Internet System // 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2017. pp. 105–110.
33. Makolkina, M. A., Teltevskaya, V. A., Kulik, V. A., Kirichek, R. V. Study of the Interaction between Augmented Reality Applications and Control Methods of UAV // Telecom IT. 2016. Vol. 4. No. 2. pp. 33–42. URL: <http://sut.ru/doci/nauka/review/20162/33-42.pdf>
34. Hoang, T., Kirichek, R., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Supernodes-Based Solution for Terrestrial Segment of Flying Ubiquitous Sensor Network under Intentional Electromagnetic Interference // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 351–359. DOI: 10.1007/978-3-319-46301-8_29.
35. Vybornova, A., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Analysis of the Packet Path Lengths in the Swarms for Flying Ubiquitous Sensor Networks // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 361–368. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_32.
36. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V. Theoretical and Practical Research Trends in the Field of Flying Ubiquitous Sensor Networks // Electrosvyaz'. 2015. No. 7. pp. 9–11.
37. Vareldzhyan, K. S., Paramonov, A. I., Kirichek, R. V. Optimization of the UAV's Motion Trajectory in Flying Ubiquitous Sensor Networks // Electrosvyaz'. 2015. No. 7. pp. 20–25.
38. Razumov, A. A., Kirichek, R. V. Increased Noise Immunity of Communication Channels of the Terrestrial Segment Flying Ubiquitous Sensor Networks to Influences of Ultrashort Electromagnetic Pulses // Electrosvyaz'. 2015. No. 9. pp. 15–17.
39. Nazarenko, A. P., Saryan, V. K., Lutokhin, A. S. Using of Flying Internet of Things Before, During and After Critical Stage of a Disaster // Electrosvyaz'. 2015. No. 7. pp. 12–15.
40. Hoang, L., Kirichek, R. V., Paramonov, A. I. Influence of Intentional Electromagnetic Interference on the Functioning of the Flying Sensor Network' Terrestrial Segment // Electrosvyaz'. 2016. No. 9. pp. 41–47.
41. Futahi, A., Paramonov, A. I. Wireless Sensor Networks with Temporary Mobile Head Nodes // Electrosvyaz'. 2016. No. 9. pp. 48–54.
42. Shilin, P. A., Kirichek, R. V. Research of the Use of UAVs as a Temporary Node of VANET Network // Electrosvyaz'. 2016. No 9. pp. 54–57.
43. Kirichek, R., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Queuing System // 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2015. pp. 127–132. DOI: 10.1109/ICACT.2015.7224771.
44. Kirichek, R., Grishin, I., Okuneva, D., Falin, M. Development of a Node Positioning Algorithm for Wireless Sensor Networks in 3D Space // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 279–282. 10.1109/ICACT.2016.7423360.
45. Kirichek, R. V., Grishin, I. V., Hundonugbo, E. F., Dumin, D. I. Method of Positioning Elements of a Sensor Network using Unmanned Aerial Vehicles // Telecom IT. 2016. Vol. 4. No. 2. pp. 26–32. URL: <http://sut.ru/doci/nauka/review/20162/26-32.pdf>
46. Shklyaeva, A. V., Kirichek, R. V., Koucheryavy, A. E. Methods for the Flying Ubiquitous Sensor Networks // Telecom IT. 2016. Vol. 4. No. 2. pp. 43–52. URL: <http://sut.ru/doci/nauka/review/20162/43-52.pdf>
47. Kirichek, R. V., Yastrebov, E. E. Software and Hardware Planning for Autonomous Flight of Unmanned Aerial Vehicles Public // 5th International Conference «Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education». 2016. Vol. 1. pp. 405–410.
48. Shklyaeva, A. V., Kirichek, R. V., Paramonov, A. I., Koucheryavy, A. E. Data Acquisition with the Ground Segment of the Flying Sensor Network as a Queuing System // Internet of Things and 5G. 2016. pp. 12–16. URL: <http://inithiten.org/doc/12-16.pdf>
49. Vladyko, A., Paramonov, A., Kirichek, R., Koucheryavy, A. Using the IEEE 802.11 Family of Standards for Communication Between Robotic Systems// Advances in Intelligent Systems Research. 2016. Vol. 133. pp. 153–157. DOI: 10.2991/aiie-16.2016.35.

50. Kirichek, R., Vladyko, A., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Software-Defined Architecture for Flying Ubiquitous Sensor Networking // 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2017. pp. 158–162.
51. Muthanna, A., Mašek, P., Hošek, J., Fujdiak, R., Hussein, O., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless Systems // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 395–403. DOI: 10.1007/978-3-319-46301-8_33.
52. Gimadinov, R. F., Muthanna, A. S., Koucheryavy, A. E. Clustering in Mobile Network 5G Based on Partial Mobility // Telecom IT. 2015. No. 2. pp. 123–127. URL: <http://www.sut.ru/doc/nauka/review/2-15.pdf>
53. Dotcenko, S., Vladyko, A., Letenko, I. A Fuzzy Logic-Based Information Security Management for Software-Defined Networks // 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2014. pp. 167–171. DOI: 10.1109/ICACT.2014.6778942.
54. Vladyko, A., Muthanna, A., Kirichek, R. Comprehensive SDN Testing Based on Model Network // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 539–549. DOI: 10.1007/978-3-319-46301-8_45.
55. Vladyko, A., Letenko, I., Lezhepekov, A., Buinevich, M. Fuzzy Model of Dynamic Traffic Management in Software-Defined Mobile Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 561–570. DOI: 10.1007/978-3-319-46301-8_47.
56. Lezhepekov, A., Letenko, I., Vladyko, A. Software-Defined Routing in Convergent LTE/Wi-Fi Networks // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2017. pp. 1–3.
57. Mostovich, D., Fabrikantov, P., Vladyko, A., Buinevich, M. High-Level Vulnerabilities of Software-Defined Networking in the Context of Telecommunication Network Evolution // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2017. pp. 1–3.
58. Koucheryavy, Y. A., Balasubramaniam, S. The Internet of Nanothings and Nanonetworks // Electrosvyaz'. 2014. No. 4. pp. 24–26.
59. Koucheryavy, A. E. Introduction to Nanonetworks // 66th Science and Technology Conference dedicated to the Day of Radio. 2011. pp. 186–187.
60. Pirmagomedov, R. Ya., Kirichek, R. V., Koucheryavy, A. E. Bacterial Nanonetworks // Telecom IT. 2015. No. 2. pp. 5–10. URL: <http://www.sut.ru/doc/nauka/review/2-15.pdf>
61. Pirmagomedov, R. Ya., Koucheryavy, Y. A., Glushakov, R. I., Kirichek, R. V., Koucheryavy, A. E. Living Substance into Cyberspace – “Biodriver” Project // Electrosvyaz'. 2016. No. 1. pp. 47–52.
62. Pirmagomedov, R., Hudoev, I., Glushakov, R., Kirichek, R., Koucheryavy, A. Analysis of Delays in Medical Applications of Nanonetworks // The 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). 2016. pp. 80–86. DOI: 10.1109/ICUMT.2016.7765231.
63. Pirmagomedov, R., Hudoev, I., Shangina, D. Simulation of Medical Sensor Nanonetwork Applications Traffic // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 430–441. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_38.

Кучерявый Андрей Евгеньевич

– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, akouch@mail.ru

Владыко Андрей Геннадьевич

– кандидат технических наук, начальник научного управления, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, vladko@sut.ru

Киричек Руслан Валентинович

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, kirichek@sut.ru

**Маколкина
Мария Александровна**

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, makolkina@list.ru

Парамонов Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, alex-in-spb@yandex.ru

Выборнова Анастасия Игоревна – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, a.vybornova@gmail.com

Пирмагомедов Рустам Ярахмедович – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российской Федерации, lts.pto@yandex.ru

Koucheryavy Andrey – D.Sc., professor, head of the department, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, akouch@mail.ru

Vladyko Andrei – Ph.D., IEEE member (M'14)), head of R&D department, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, vladyko@sut.ru

Kirichek Ruslan – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, kirichek@sut.ru

Makolkina Maria – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, makolkina@list.ru

Paramonov Alexander – D.Sc., professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, alex-in-spb@yandex.ru

Vybornova Anastasia – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, a.vybornova@gmail.com

Pirmagomedov Rustam – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, lts.pto@yandex.ru