

## ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: ПЕРСПЕКТИВЫ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ

**М. М. Ефимов<sup>\*</sup>, Р. В. Киричек**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

<sup>\*</sup>Адрес для переписки: [mastere1703@yandex.ru](mailto:mastere1703@yandex.ru)

**Аннотация—Предмет исследования.** Адаптивные системы в концепции Интернета вещей. **Цель работы.** Провести анализ и представить возможности адаптивных систем применительно к эко-системе Интернета вещей. **Метод.** Кроме научного подхода, в работе используются графовые (сетевые) и алгебраические методы, а также методы комплексного анализа. **Основные результаты.** Использование адаптивных систем позволит прогнозировать значения параметров окружающей среды и выполнять ряд действий без участия пользователя. В результате такой подстройки система становится адаптивной, обучаясь и приспосабливаясь к изменениям окружающей обстановки, или к режимам подаваемых команд. **Основные выводы.** В статье представлен анализ систем и приведены примеры использования адаптивных систем.

**Ключевые слова**—Интернет вещей, прогнозирование параметров окружающей обстановки, регрессионный анализ временного ряда, метод скользящего среднего, умный дом.

### Информация о статье

УДК 004.7

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 15.11.19, принята к печати 10.04.20.

**Ссылка для цитирования:** Ефимов М.М., Киричек Р.В.: Интернет вещей: перспективы адаптивных систем // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 55–66. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-55-66.

## INTERNET OF THINGS: PERSPECTIVES OF ADAPTIVE SYSTEMS

**M. Efimov<sup>\*</sup>, R. Kirichek**

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

<sup>\*</sup>Corresponding author: [mastere1703@yandex.ru](mailto:mastere1703@yandex.ru)

**Annotation—Research subject.** Adaptive systems in the concept of the Internet of things. **Objective.** To analyze and present the capabilities of adaptive systems in relation to the eco-system of the Internet of things. **Method.** In addition to the scientific approach, graph (network) and algebraic methods are used in the work, as well as methods of complex analysis. **Core results.** The use of adaptive systems will make it possible to predict the values of environmental parameters and perform a series of actions without user intervention. As a result of this adjustment, the system becomes adaptive, learning and adapting to changes in the environment, or to the modes of the commands given. **Practical relevance.** The article presents an analysis of systems and provides examples of the use of adaptive systems.

**Keywords—**Internet of things, prediction of environmental parameters, regression analysis of the time series, moving average method, smart home.

#### Article info

Article in Russian.

Received 15.11.19, accepted 10.04.20.

**For citation:** Efimov M.M., Kirichek R.V. The Internet of Things: Prospects for Adaptive Systems // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 55–66 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-55-66.

## Введение

Концепция Интернета Вещей является одним из перспективных направлений для исследований в области информационных технологий. Интернет Вещей – это сеть датчиков, физических объектов или «вещей», встраиваемых в общую зону взаимодействия посредством любых доступных каналов связи. С помощью электротехнического оборудования и различного программного обеспечения, используя различные протоколы взаимодействия между собой и протокол IP, устройства получают доступ в глобальную сеть, в роли которой на данный момент является сеть Интернет. Каждая вещь является уникально-идентифицируемым объектом и способна взаимодействовать в рамках существующей сетевой инфраструктуры [1, 2].

В общем случае, в рамках концепции предполагается сбор информации с удалённых устройств, управление этими устройствами, обмен данными между ними, перераспределение задач, анализ полученной информации, планировка действия объекта с учётом полученных данных. Для отслеживания таких процессов необходимы определенные инструменты коммуникации, аналитики и безопасности, которые, объединяясь в общую платформу, образуют единую систему взаимодействия, не только с объектами, но и другими пользователями. В качестве примера такой платформы, в частности, можно привести платформу ThingWorx (TWX) – программную платформу для разработки и реализации приложений класса M2M (Межмашинного взаимодействия) и Internet of Things (IoT, Интернет Вещей).

### Обзор возможностей, предоставляемых платформой ThingWorx

*ThingWorx* — это платформа, предназначенная для сборки и запуска приложений современного сетевого мира. Платформа ThingWorx сокращает временные, финансовые затраты и снижает риски, связанные со сборкой инновационных приложений для интеллектуальных сетевых изделий.

Платформа ThingWorx предоставляет организациям уникальную возможность быстрой сборки и запуска сетевых приложений с целью реализации коммерческих возможностей, открываемых стремительно развивающимся миром интеллектуальных вещей.

Ниже кратко рассмотрены основные возможности некоторых модулей платформы ThingWorx<sup>1</sup>.

*ThingWorx Composer* — это комплексная среда моделирования приложений, позволяющая легко создавать уникальные приложения в современном взаимосвязанном мире. ThingWorx Composer упрощает моделирование объектов и бизнес-логики, визуализацию, хранение данных, совместную работу и обеспечение безопасности, необходимые для сетевых приложений.

*ThingWorx SQUEAL* (поиск, запросы и анализ) делает функцию поиска доступной в мире интеллектуальных сетевых устройств и распределенных данных. Используя функции интерактивного поиска ThingWorx SQUEAL, пользователи могут сопоставлять данные и получать ответы на важнейшие вопросы бизнеса. Правильно подобранные и актуальные данные о совместной работе, записи бизнес-систем и сведения об оборудовании теперь можно найти за одну операцию поиска, благодаря чему ускоряется разрешение проблем и реализация инноваций.

*ThingWorx Mashup Builder* с функцией перетаскивания позволяет разработчикам и бизнес-пользователям быстро создавать многофункциональные интерактивные приложения, панели мониторинга в реальном времени, области для совместной работы и мобильные интерфейсы, не используя для этого код.

Платформа ThingWorx динамически и виртуально объединяет людей, системы и сетевое оборудование, а интерактивные сеансы совместной работы помогают отдельным специалистам и рабочим группам разрешать проблемы быстрее.

Хранилище данных ThingWorx лежит в основе контекстного взаимодействия и совместной работы пользователей системы, дополнительно повышая ее ценность. Кроме того, коллективные знания, выявляемые в ходе этого процесса, автоматически фиксируются и индексируются для использования при устранении неполадок в будущем.

ThingWorx — позволяющая хранить и согласовывать данные в трех измерениях: данные от людей, систем и подключенных к Сети объектов. Эта функция позволяет извлекать из огромного объема данных, поступающих от этих трех источников, ценные с точки зрения бизнеса данные, делая их полезным и имеющим практическую ценность ресурсом.

Платформа поддерживает требования к масштабированию (до миллионов устройств) и обеспечивает возможности подключения, хранения, анализа, выполнения и совместной работы, то есть удовлетворяет ключевым требованиям, предъявляемым к приложениям в современном сетевом мире.

Кроме того, в состав платформы входит модуль сбора данных, обеспечивающий единое семантическое хранилище структурированных, социальных данных и данных временных рядов, работающий со скоростями до 10 раз выше по сравнению с традиционными реляционными базами данных.

---

<sup>1</sup> Ежегодные конференции компании PTC. [Электронный ресурс]. Электрон. зап. Режим доступа: [www.ptc.com](http://www.ptc.com).

«Объединяющая» стратегия сетевых подключений ThingWorx открывает широкие рыночные возможности и сводит к минимуму усилия по интеграции. Платформа ThingWorx поддерживает подключение к устройствам несколькими методами, включая сторонние облака устройств, прямые сетевые подключения, открытые API-интерфейсы и подключения AlwaysOn.

Важным преимуществом платформы ThingWorx является тот факт, что компания PTC запустила академическую программу в области IoT. Программа направлена на развитие IoT-знаний и навыков посредством академического и практического обучения. ThingWorx можно использовать в различных дисциплинах, включая компьютерные науки, электротехнику, машиностроение, бизнес и др. Платформа ThingWorx размещена на сервере PTC, поэтому всё, что требуется для обучения – это веб-браузер Google Chrome. Кроме того, данная платформа используется как базовая основа для сбора данных и управления устройствами интернета вещей по образовательной программе WordSkills в компетенции Интернет вещей.

### Эталонная архитектура Интернета вещей

Архитектура IoT состоит из четырех функциональных уровней. Первый (самый нижний уровень – уровень сенсоров и сенсорных устройств) состоит из объектов, интегрированных с сенсорами (датчиками), которые обеспечивают сбор и обработку информации в реальном масштабе времени. Второй уровень (уровень шлюзов и сетей) состоит из конвергентной сетевой инфраструктуры, которая создается путем интеграции разнородных сетей в единую сетевую платформу. Третий – сервисный уровень, – содержит определенный разработчиком системы набор услуг, автоматизирующих ряд технологических и хозяйственных операций. Четвертый уровень (уровень приложений) архитектуры IoT включает различные типы приложений для соответствующих промышленных секторов и сфер деятельности [3]. Данная модель соответствует рекомендации МСЭ-T Y.2060/Y.4000 и приведена на рис. 1.

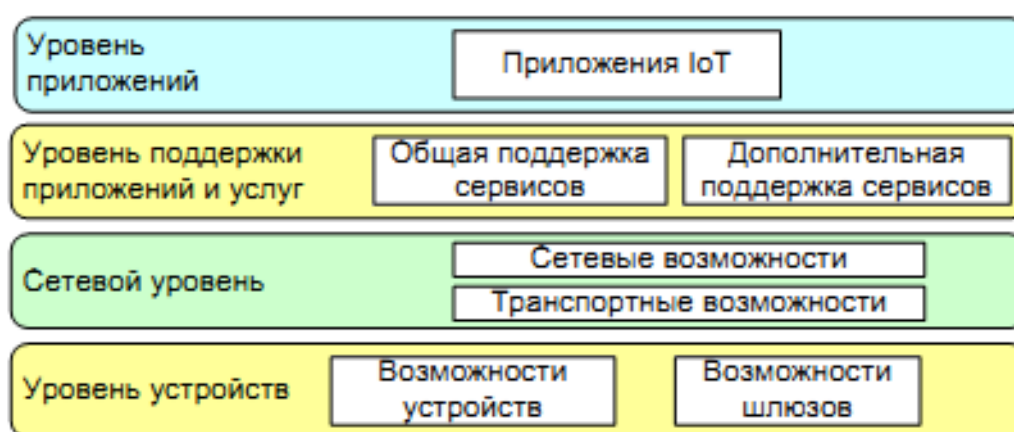


Рис. 1. Архитектура IoT согласно МСЭ-T Y.2060/Y.4000 [3, 4]

На базе IoT решаются разные классы задач. Для дальнейшего описания удобно рассматривать такую классификацию, при которой выделяются два типа задач [4].

Первая задача — это удаленный **мониторинг и управление** набором взаимосвязанных сетевых устройств, каждое из которых может взаимодействовать с объектами инфраструктуры и физической среды. Например, датчики температуры и влажности контролируют сеть приборов, которые управляют системой климата умного здания (окон, жалюзи, кондиционеров и пр.) В этом случае основная функция системы – управляющая.

Вторая задача — это использование данных, получаемых с конечных узлов (смарт-устройств с возможностью подключения и зондирования) для **интеллектуального анализа** с целью выявления **тенденций и взаимосвязей**, которые могут генерировать полезную информацию. Например, анализ суточных колебаний температуры воздуха позволит прогнозировать необходимость включения/отключения отопительной системы в определенном временном интервале. Другой пример: анализ периодических изменений освещенности в помещении и присутствия в помещении людей позволит системе прогнозировать время включения осветительных приборов, вентиляции или кондиционирования. В этом случае основная функция системы – аналитическая.

При этом следует заметить, что M2M (межмашинное взаимодействие) давно используется в различных отраслях. Эта технология является надежным способом сбора данных, однако на стадии принятия решений требует обязательного участия человека. Отличие интернета вещей заключается в возможности автоматизации рутинных действий, основанных на анализе данных<sup>2</sup>. Перспективы адаптивных систем IoT заключаются в принципиальной возможности, решая вторую задачу IoT, осуществлять прогнозирование параметров окружающей обстановки на основании анализа данных, полученных от датчиков первого уровня и обработанных на верхнем – четвертом уровне архитектуры IoT.

Обобщая вышесказанное, интернет вещей можно определить как информационно-технологическую концепцию построения информационных и коммуникационных инфраструктур на основе вычислительной сети, соединяющей вещи (физические объекты), оснащенные информационными технологиями для осуществления коммуникационного обмена друг с другом и глобальной информационно-коммуникационной инфраструктурой непосредственно, или через интегрированные с ними иные устройства, имеющие адрес протокола Интернет (IP) без участия человека, с целью сбора, передачи, накопления и обработки информации.

### **Принципы прогнозирования значений параметров окружающей обстановки с использованием регрессионного анализа временных рядов**

Принципы адаптивного управления рутинными процессами успешно реализованы в ряде компьютеризированных систем – в качестве примера можно привести адаптивную трансмиссию автомобиля, которая в процессе эксплуатации накапливает данные от различных датчиков (частоты вращения вала двигателя, нагрузки на двигатель, передаточного числа трансмиссии, ускорения ав-

---

<sup>2</sup> Ежегодные конференции компании PTC. [Электронный ресурс]. Электрон. зап. Режим доступа: [www.ptc.com](http://www.ptc.com).

томобилia и др.), анализирует эти данные и в процессе «обучения» автоматически подстраивает параметры алгоритмов функционирования трансмиссии под индивидуальный «стиль» управления водителя.

Системы адаптивного управления используют алгоритмы статистической обработки массива данных, полученных от сенсоров. В результате статистического анализа система управления вырабатывает режим функционирования, наиболее полно соответствующий параметрам временного ряда, составленного из показаний датчиков (сенсоров). Адаптивное управление, кроме того, также включает в себя предсказательные функции – на основании анализа данных от датчиков система прогнозирует режим управления в некотором временном интервале будущего [6, 7].

Временной ряд (или ряд динамики) – это упорядоченная по времени последовательность значений некоторой произвольной переменной величины. Тем самым, временной ряд существенным образом отличается от простой выборки данных. Каждое отдельное значение данной переменной называется отсчётом (уровнем элементов) временного ряда.

Временные ряды состоят из двух элементов: периода времени, за который или по состоянию на который приводятся числовые значения и числовых значений того или иного показателя, называемых обычно уровнями ряда.

Временные ряды, как правило, возникают в результате измерения некоторого показателя. Типичными примерами временных рядов можно назвать изменение температуры объекта, пропускной способности сети, интенсивности абонентов в сети, при анализе которых пытаются определить основное направление развития (тенденцию или тренд).

Анализ временных рядов – совокупность математико-статистических методов анализа, предназначенных для выявления структуры временных рядов и для их прогнозирования. Сюда относятся, в частности, методы регрессионного анализа. Выявление структуры временного ряда необходимо для того, чтобы построить математическую модель того явления, которое является источником анализируемого временного ряда.

Прогноз – это предсказание будущего с помощью научных методов, а также сам результат предсказания. Прогноз – это научная модель будущего события, явлений и т. п. Прогнозирование, разработка прогноза; в узком значении – специальное исследование конкретных перспектив развития какого-либо процесса. Прогноз будущих значений временного ряда используется для эффективного принятия решений системой управления.

Метод прогнозирования представляет собой последовательность действий, которые нужно совершить для получения модели прогнозирования.

Модель прогнозирования есть функциональное представление, адекватно описывающее исследуемый процесс и являющееся основой для получения его будущих значений.

Совокупность метода и модели позволяет перейти к процессу прогнозирования [5].

Методы прогнозирования обычно делят на две группы: интуитивные и формализованные. Интуитивные методы прогнозирования имеют дело с суж-

дениями и оценками экспертов, в тех случаях, когда система, поведение которой необходимо спрогнозировать, очень сложна и не поддается математическому описанию. Эти методы в данном контексте исключены.

Формализованные методы — описанные в литературе методы прогнозирования, в результате которых строят модели прогнозирования, то есть определяют такую математическую зависимость, которая позволяет вычислить будущее значение процесса, то есть сделать прогноз.

Классификация моделей прогнозирования разделяет их на две группы: модели предметной области и модели временных рядов.

Модели предметной области — такие математические модели прогнозирования, для построения которых используют законы предметной области. Например, модель, на которой делают прогноз погоды, содержит уравнения динамики жидкостей и термодинамики. В таких моделях используются зависимости, свойственные конкретной предметной области. Такого рода моделям свойственен индивидуальный подход в разработке.

Модели временных рядов — математические модели прогнозирования, которые стремятся найти зависимость будущего значения от прошлого внутри самого процесса и на этой зависимости вычислить прогноз. Эти модели универсальны для различных предметных областей, то есть их общий вид не меняется в зависимости от природы временного ряда. Например, можно использовать нейронные сети для прогнозирования температуры воздуха, а после аналогичную модель на нейронных сетях применить для прогноза экономических процессов.

Модели временных рядов, в свою очередь, можно разделить на две группы: статистические и структурные.

В статистических моделях зависимость будущего значения от прошлого задается в виде некоторого уравнения. К ним относятся: регрессионные модели (линейная регрессия, нелинейная регрессия); авторегрессионные модели (ARIMAX, GARCH, ARDLN); модель экспоненциального сглаживания; модель по выборке максимального подобия и др.

В структурных моделях зависимость будущего значения от прошлого задается в виде некоторой структуры и правил перехода по ней. К ним относятся: нейросетевые модели; модели на базе цепей Маркова; модели на базе классификационно-регрессионных деревьев и др. [5].

Теоретической основой методов прогнозирования является прикладная статистика и теория принятия решений.

Простейшие методы восстановления используемых для прогнозирования зависимостей исходят из заданного временного ряда, т. е. функции, определённой в конечном числе точек на оси времени. Временной ряд при этом часто рассматривается в рамках той или иной вероятностной модели, вводятся другие факторы (независимые переменные), помимо времени. Временной ряд также может быть многомерным. Основные решаемые на данном этапе задачи – интерполяция и экстраполяция.

Одним из методов, используемых для прогнозирования, является регрессионный анализ. Регрессия, в данном случае – это статистический метод, который позволяет найти уравнение, наилучшим образом описывающее временной

ряд. По полученному уравнению можно вычислить значение параметра для любого значения времени, как внутри интервала изменения времени (интерполяция), так и вне его (экстраполяция).

Математическая модель регрессии – это функция, обычно элементарная. Хорошо разработаны наиболее простые приближения линейной функцией – линейная регрессия:  $f(t) = k \cdot t + b$ .

В случае нелинейной регрессии используют приближения степенной функцией (разложение в степенной ряд:  $f(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \dots + a_n \cdot t^n$ ); экспоненциальной функцией:  $f(t) = a_0 + a_1 \cdot e^t + a_2 \cdot e^{2t} + \dots + a_n \cdot e^{nt}$  (после логарифмирования позволяет перейти к линейной модели).

Периодические процессы, как известно, хорошо приближаются рядами Фурье – линейными комбинациями тригонометрических функций:

$$f(t) = \sum_{k=0}^n [a_k \cdot \cos(kt) + b_k \cdot \sin(kt)].$$

Часто случается, что в исследуемом периодическом процессе имеются выбросы. Как правило, они весьма сложно исследуются. Очевидно, что подобные выбросы негативно влияют на ближайшие к ним прогнозные значения.

Для сглаживания подобных пиков применяется **модель скользящего среднего**. Эта модель представляет собой фильтр низких частот, который позволяет сглаживать выбросы временного ряда. Эти выбросы прогнозировать достаточно сложно или невозможно.

Скользящее среднее порядка  $p$ , которое принято обозначать как  $MA(p)$ , для временного ряда  $Z(t)$  вычисляется следующим образом:

$$MA(p) = \frac{Z(t) + Z(t-1) + Z(t-2) + \dots + Z(t-p+1)}{p}.$$

Таким образом, скользящее среднее для момента времени  $t$  является алгебраическим средним нескольких предыдущих значений исходного временного ряда  $Z(t)$ .

Следует отметить, что использование модели скользящего среднего приводит к сдвигу по времени прогнозируемого процесса (к фазовому сдвигу в случае периодического процесса). Этот сдвиг, однако, элементарно устраняется сдвигом значений ряда [5].

### **Перспективы построения адаптивной системы интернета вещей**

В качестве примера можно рассмотреть реализацию подсистемы «умного дома», управляющей отоплением, вентиляцией и кондиционирования. Сенсором такой подсистемы является датчик температуры (первый уровень архитектуры МСЭ-Т Y.2060/Y.4000). Показания датчика с заданной периодичностью считываются и передаются на сетевом уровне с использованием любой доступной сетевой технологии [8, 9, 10].

Верхние уровни (сервиса и приложений) осуществляют сортировку, анализ, прогнозирование, формируют управляющие команды и передают обнов-



ленные параметры алгоритма функционирования на первый уровень – исполнительным устройствам (сервоприводам устройств управления отоплением, вентиляцией и кондиционированием).

При этом анализ, прогнозирование и формирование управляющих команд осуществляется на верхних уровнях архитектуры IoT – это могут быть облачные сервисы, либо вычислительные средства удаленного пользователя [11, 12, 13].

Наглядно структура взаимодействия устройств первого уровня (сенсоров и сервоприводов, например) с верхними уровнями сервиса и приложений показана на рис. 2.

Преимущества такой системы заключаются в следующем:

1. Возможность гибкого, адаптивного управления системой – в зависимости от изменений параметров окружающей обстановки.
2. Энергоэффективность и энергоэкономичность системы.
3. Возможность «ручного» управления из любой, территориально удаленной, точки.
4. Надежность системы – вычислительные и управляющие сервисы физически не связаны с системой.
5. Высокая степень автоматизации процессов управления системой.



Рис. 2. Взаимодействие компонентов разных уровней интернета вещей<sup>3</sup>

Следующий пример – машиностроительная отрасль производства. В машиностроении – это контроль процесса производства, удаленная диагностика, управление роботизированными комплексами [14, 15, 16, 17]. По мере развития технологий заказчики стали проявлять интерес к интуитивно понятным пользовательским интерфейсам (например, на основе сенсорных экранов), работа с которыми практически не требует обучения при значительном повышении удобства управления станком. Возникает необходимость в разработке более совершенного программного обеспечения, что еще больше повышает сложность создания современного станка и систем обработки данных о функционировании самих станков.

Станки с поддержкой сбора данных с датчиков имеют возможность контролировать собственную работу, измеряя такие параметры, как температура, дав-

<sup>3</sup> Ежегодные конференции компании PTC. [Электронный ресурс]. Электрон. зап. Режим доступа: [www.ptc.com](http://www.ptc.com).

ление и расход жидкости в гидросистеме и пр. Они могут автоматически выявлять отклонения и сообщать о них инженерам, чтобы проблемы устранялись на начальном этапе, еще до возникновения серьезных и дорогостоящих отказов. Поступающие от станков данные могут быть частью более обширной информационной системы, к которой будут подключаться имеющиеся на заводе приводы, датчики, считыватели RFID-меток. Это обеспечит непрерывный сбор сведений о работе технологической линии. Собранные данные будут обрабатываться и анализироваться с применением облачных технологий, что повысит интеллектуальность работы предприятия и поможет принимать оптимальные решения и людям, и машинам.

В заключение следует отметить, что в настоящее время существуют описания сотен устройств IoT и примеры их применения в российской и зарубежной практике в таких областях, как авиапромышленность и автомобилестроение, интеллектуальные сооружения и «умные» города, здравоохранение и фармацевтика, розничная торговля и логистика, промышленная сфера и добывающие отрасли, а также сельское хозяйство, мониторинг транспортных средств и безопасность, энергосбережение, бесконтактные системы быстрой оплаты и многие другие. Одной из ключевых задач на первой стадии (до 2015–2017 гг.) развития платформ Интернета вещей основной задачей был сбор данных и удаленное управление IoT-устройствами. В настоящее время реализуется вторая стадия, когда важен не только сбор данных от IoT-устройств, но и анализ этих данных. На базе анализа становится возможным формировать управляющие команды для управления IoT-устройств без участия человека. Анализ открытых источников показал, что системы предиктивной аналитики интегрируются практически в каждой из отраслей, создавая возможность не только автоматизировать, но и «оживить» современные производственные процессы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук МД-2454.2020.9.*

#### Литература

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с.
2. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
3. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю. Интернет вещей: учебное пособие. Самара: ПГУТИ, 2015. 200 с.
4. Приемышев А. В., Крутов В. Н., Тряель В. А., Коршакова О. А. Технологии создания интеллектуальных устройств, подключенных к Интернет: учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2017. 100 с.: ил.
5. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобию : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.18 / Чучуева Ирина Александровна. М., 2012. 153 с.
6. Хлызов А. И., Суродеева Е. В., Киричек Р. В. Программное обеспечение для интеллектуальной обработки данных от беспроводных сенсорных сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2. С. 111–119.
7. Окулов Е. М., Киричек Р. В. Обзор международной деятельности в сфере разработки и исследования методов обработки данных от устройств Интернета вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 4. С. 58–66.

8. Боронин П. Н., Кучерявый А. Е. Интернет вещей как новая концепция развития сетей связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 3 (7). С. 7-30.
9. Kirichek, R., Koucheryavy A. Internet of things laboratory test bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 348. pp. 485–494.
10. Кучерявый А. Е. Интернет вещей как концепция развития сетей связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. № 64. 20–24 февраля 2012 года : материалы. СПб.: СПбГУТ, 2012. С. 124–125.
11. Львова Т. К. Хакимов А. А., Аль Бахри М. С., Мутханна А. С. А., Киричек Р. В. Исследование методов удаленного контроля за IoT-устройствами на основе облачных платформ и различных протоколов // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017. С. 179–180.
12. Корчагина Е. С., Кулик В. А., Киричек Р. В. Исследование методов передачи мультимедийных данных на основе типовой программно-аппаратной платформы Интернета Вещей // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017. С. 221–223.
13. Маколкина М. А., Окунева Д. В., Кулик В. А., Тельтевская В. А., Щербак А. С., Киричек Р. В. Исследование взаимодействия приложений дополненной реальности с облачными сервисами 1С // Электросвязь. 2017. № 12. С. 31–35.
14. Кулик В. А., Киричек Р. В., Парамонов А. И. Классификация и исследование трафика промышленного интернета вещей на модельной сети // Электросвязь. 2019. № 8. С. 22–28.
15. Kulik V., Kirichek R., Sotnikov A. Industrial Internet of Things classification and analysis performed on a model network // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. pp. 548–561.
16. Kirichek R., Paramonov A., Vladyko A., Borisov E. Implementation of the communication network for the multi-agent robotic systems // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems. 2016. Vol. 7. № 1. PP. 48–63.
17. 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.

### References

1. Kucheryavy A. E., Prokopyev A. V., Kucheryavy E. A. Self-organizing networks. SPb.: Lyubavich, 2011. 312 s.
2. Koucheryavy A. The Internet of Things // *Electrosvyaz*. 2013. No. 1. pp. 21–24.
3. Roslyakov A. V., Vanyashin S. V., Grebeshkov A. Yu. The Internet of things: a training manual. Samara: PSUTI, 2015. 200 s.
4. Priemyshev A. V., Krutov V. N., Treyal V. A., Korshakova O. A. Technologies for creating intelligent devices connected to the Internet: Tutorial. SPb.: Publishing House "Lan", 2017. 100 s.: ill.
5. Chuchuyeva I.A. Model prognozirovaniya vremennykh ryadov po vyborke maksimalnogo podobiya : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.18 / Chuchuyeva Irina Aleksandrovna. M.. 2012. 153 s.
6. Khlyzov A. I., Surodeeva E. V., Kirichek R. V. Software for intelligent data processing from wireless sensor networks // *Information Technologies and Telecommunications*. 2015. No. 2. pp. 111–119.
7. Okulov E. M., Kirichek R. V. Review of international activities in the field of development and research of methods for processing data from devices of the Internet of things // *Information Technologies and Telecommunications*. 2016. T. 4. No. 4. pp. 58–66.
8. Boronin P. N., Kucheryavy A. E. Internet of things as a new concept for the development of communication networks // *Information Technologies and Telecommunications*. 2014. No. 3 (7). pp. 7-30.
9. Kirichek, R., Koucheryavy A. Internet of things laboratory test bed // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2016. Vol. 348. pp. 485–494.
10. Kucheryavy A. E. Internet veshchey kak kontseptsiya razvitiya setey svyazi // *Aktualnyye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya i*

nauchno-metodicheskaya konferentsiya. № 64. 20–24 fevralya 2012 goda : materialy. SPb.: SPbGUT. 2012. S. 124–125.

11. Lvova T. K., Khakimov A. A., Al Bakhri M. S., Mutkhanna A. S. A., Kirichek R. V. Issledovaniye metodov udalennogo kontrolya za IoT-ustroystvami na osnove oblachnykh platform i razlichnykh protokolov // 72-ya Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. posvyashchennaya Dnyu radio. SPb.: SPbGEU «LETI» im. V. I. Ulianova (Lenina). 2017. S. 179–180.

12. Korchagina E. S., Kulik V. A., Kirichek R. V. Issledovaniye metodov peredachi multi-mediynykh dannyykh na osnove tipovoy programmno-apparatnoy platformy Interneta Veshchey // 72-ya Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. posvyashchennaya Dnyu radio. SPb.: SPbGEU «LETI» im. V. I. Ulianova (Lenina). 2017. S. 221–223.

13. Makolkina, M. A., Okuneva D. V., Kulik V. A., Teltevsckaya V. A., Shcherbak A. S., Kirichek R. V. Investigation of the interaction of augmented reality applications with cloud services 1C // Telecommunication. 2017. No. 12. pp. 31–35.

14. Kulik V. A., Kirichek R. V., Paramonov A. I. Classification and study of the traffic of the industrial Internet of things on a model network // Telecommunication. 2019. № 8. pp. 22–28.

15. Kulik V., Kirichek R., Sotnikov A. Industrial Internet of Things classification and analysis performed on a model network // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems 2019. pp. 548–561.

16. Kirichek R., Paramonov A., Vladyko A., Borisov E. Implementation of the communication network for the multi-agent robotic systems // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems. 2016. Vol. 7. № 1. pp. 48–63.

17. 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.

**Ефимов Михаил Михайлович** – выпускник Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [mastere1703@yandex.ru](mailto:mastere1703@yandex.ru)

**Efimov Mikhail** – graduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [mastere1703@yandex.ru](mailto:mastere1703@yandex.ru)

**Киричек Руслан Валентинович** – доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kirichek.sut@mail.ru](mailto:kirichek.sut@mail.ru)

**Kirichek Ruslan** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [kirichek.sut@mail.ru](mailto:kirichek.sut@mail.ru)