

**КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 620.9:658.26

**СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

В.А. ВИШНЯКОВ, К.А. РАДКЕВИЧ

*Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»,  
ул. Ф. Скорины, 8/2, Минск, 220114, Беларусь*

*Поступила в редакцию 21 февраля 2020*

В статье приведен обзор и анализ существующих технологий «Интернета вещей», рассмотрены модели и состав «Интернета вещей», приведены вариации архитектур построения сети «Интернета вещей». Дано описание четырех уровней архитектур, а также используемые протоколы связи. Для дальнейших исследований определены проблемы внедрения и развития данных сетей в учебный процесс академии связи.

*Ключевые слова:* «Интернет вещей», когнитивный «Интернет вещей», сетевое взаимодействие, построение системы «Интернета вещей», архитектура «Интернета вещей», стандартизация «Интернета вещей».

**Введение**

Современные инфокоммуникации претерпевают постоянные эволюцию и прогресс, меняются парадигмы и тренды, устаревают понятия и образуются новые концепции. Понятие «Интернета вещей» (ИВ) возникло в качестве удаленно управляемого тостера Джона Ромки на выставке технологий Interop. В Рекомендациях МСЭ-Т Y.2060 (06/2012) дается определение ИВ как глобальной инфраструктуры для информационного общества, которая обеспечивает возможность предоставления более сложных услуг путем соединения друг с другом (физических и виртуальных) вещей на основе существующих и развивающихся функционально совместимых информационно-коммуникационных технологий [1].

Еще одно официальное описание термина дает Комиссия по архитектуре Интернет в документе RFC 7452 «Особенности архитектуры в сетях интеллектуальных объектов». По мнению этих специалистов ИВ представляет собой тенденцию, при которой множество встроенных устройств используют услуги связи на основе Интернет протоколов. Многие из этих устройств называют «умными» объектами, которые не управляются непосредственно человеком, однако существуют в качестве компонентов зданий или транспортных средств либо распространены в окружающей среде [2].

Специалисты компании IDC считают, что ИВ это сеть сетей с уникально идентифицируемыми конечными точками, которые общаются между собой в двух направлениях по протоколам IP и без человеческого вмешательства. Представители фирмы Gartner определяют ИВ как сеть физических объектов, которые имеют встроенные технологии, позволяющие осуществлять взаимодействие с внешней средой, передавать сведения о своем состоянии и принимать данные извне. Аналитики компании McKinsey определяют ИВ как датчики и приводы (исполнительные устройства), встроенные в физические объекты и связанные через проводные или беспроводные сети с использованием IP-протокола [3]. По мнению специалистов фирмы HPE ИВ описывает большой и растущий набор цифровых устройств, насчитывающих в настоящее время миллиарды, которые работают в сетях потенциально глобального масштаба [4].

Устройства, датчики и их системы все чаще находят применение в промышленности, в сельскохозяйственном секторе, здравоохранении и других отраслях, позволяя появляться так

называемым «умным» счетчикам в сфере ЖКХ, «умным» автомобилям в транспортном секторе, смарт-картам и т. д. Проводятся работы по созданию «умной» планеты, «умным» городам, районам, домам. Развиваются исследования по коммуникациям с «умными» телефонами, часами и прочими девайсами, а также «умному» коммунальному хозяйству, производству, образованию и здравоохранению.

Применение технологий ИВ в процентном выражении возрастает в каждой отрасли, повышая производительность и эффективность и в коммерческих организациях и компаниях, что выражается использованием «умных» устройств и систем, применением их в системах безопасности, транспортной организации, уличного освещения и т. д. По данным отчетов компании HPE исследования «The Internet of Things: Today and Tomorrow» 2017 года и компании Microsoft исследования «IoT Signals» 2019 года, спрогнозированные цифры внедрения технологий ИВ в управление и производство выросли с 54 % до 85 % и предполагается рост этой доли в 2021 году до 94 % [5, 6].

### Модели и состав ИВ

Технологию инфокоммуникаций ИВ можно выразить в виде модели (рис. 1).

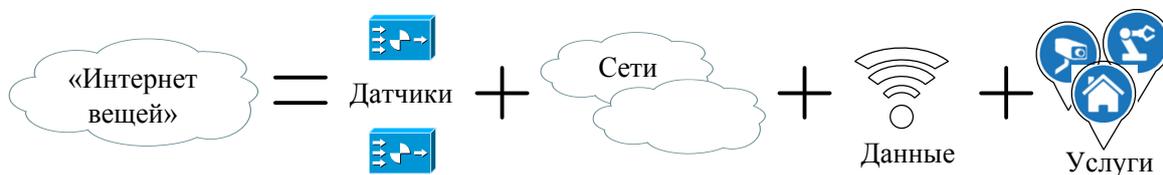


Рис. 1. Модель сети ИВ

В данной модели ИВ датчик можно определить как физическую вещь, у которой подразумевается наличие элементов коммутирующего оборудования и некоторых опций, для управления либо измерения каких-либо параметров, ввода и обработки данных, хранения малой информации [7]. Один из основателей Европейского совета по «Интернету вещей» Роб ван Краненбург выделяет четыре уровня разработок в области ИВ [8]:

1-й уровень – «вещь», т. е. то, что непосредственно носимо человеком на себе и связано с идентификацией каждого объекта;

2-й уровень – «Умный дом», т. е. реализация услуг для удовлетворения нужд потребителей и создание сети «вещей», объединенных локальной сетью;

3-й уровень – «Умный город», т. е. по сути урбанизация городской жизни, создание концепции, охватывающей весь город и всех его жителей;

4-й уровень – «Умная планета», т. е. полная взаимосвязь и взаимодействие всех устройств в мире.

В целях решения задач в инфраструктуре ИВ существующие протоколы можно разделить на следующие группы:

– протоколы, призванные для сбора данных самими устройствами и последующей передачи их на сервера;

– протоколы, необходимые для коммуникации устройств с людьми и последующего соединения с сервером самими пользователями;

– протоколы, которые связывают сервера между собой.

Наиболее распространенные технологии коммуникации, используемые в ИВ, и их протоколы связи приведены в таблице 1 [9].

Так же одной из важнейших технологий при реализации сети ИВ является развертывание сети 5G, так как многие сценарии построения ИВ при реализации требуют усовершенствования существующих сетей передачи данных до уровня 5 (по скорости передачи). Сети, реализованные на технологиях 5G, менее затратные и обладают свойством адаптации к применению с множеством подключений, уменьшают энергозатратность и увеличивают скорость мобильной передачи данных.

Таблица 1. Протоколы связи, используемые в сетях ИВ

Название протокола связи	Скорость передачи	Полоса частот	Дальность связи
RFID	424 кб/с	135 кГц	> 50 см
		13,56 МГц	> 50 см
		866–960 МГц	> 3 м
		2,4 ГГц	> 1,5 м
NFC	10 кб/с – 10 Мб/с	2,45 ГГц	< 0,2 м
ZigBee	20/256 кб/с	900 МГц/ 2,4 ГГц	10 м
Bluetooth	1 Мб/с	2,4 ГГц	10 м
BLE	10 кб/с	2,4 ГГц	> 10 м
UWB	50 Мб/с	широкополосный	30 м
Wi-Fi (IEEE 802/11ac)	до 6,77 Гбит/с	2,4/5 ГГц	100 м
Мобильные сети 3G/4G (LTE)	до 150 Мб/с	800/900/1800/2400 МГц	десятки км

### Архитектура ИВ

Международная электротехническая комиссия совместно с Международной организацией по стандартизации (ИСО) выпустили в 2018 году первый в мире гармонизированный стандарт эталонной архитектуры ИВ – ISO/IEC 30141, который представляет собой сложное собрание миллиардов «умных» устройств, подключаемых с помощью Интернета. Данный стандарт включает в себя новую структуру, известную как модель с шестью доменами для эталонной архитектуры ИВ, являющийся инструментом при системном проектировании и интеграции множества устройств и операций в ИВ. Также при рассмотрении подключения и связи устройств в ИВ необходимо опираться на директивный документ по архитектуре для сетевого подключения интеллектуальных объектов RFC 7452 «Особенности архитектуры в сетях интеллектуальных объектов», выпущенный Комиссией по архитектуре Интернета.

Для внедрения и построения ИВ используются различные модели, среди которых определены четыре общие, с особенными характеристиками.

#### 1. Модель связи от устройства к устройству (рис. 2):

– два и более устройств, которые подключаются и осуществляют связь между собой напрямую, без использования промежуточных серверов, приложений. Связь между устройствами осуществляется через различные типы сетей и используя различные протоколы, чаще всего применяются сети на основе IP-протоколов, а также Bluetooth, Z-Wave или ZigBee, что позволяет установить прямую связь между устройствами.

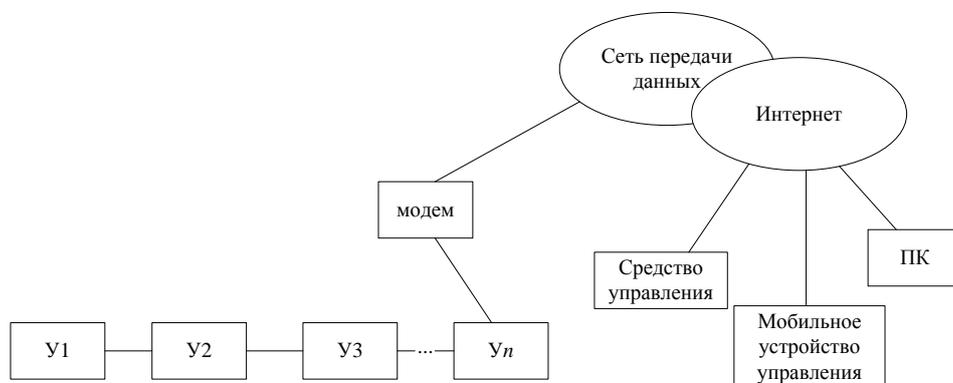


Рис. 2. Архитектура «от устройства к устройству»

#### 2. Модели связи от устройства к облаку (рис. 3):

– устройство ИВ подключается напрямую к «облаку», интернет-службе, поставщику услуг аренды приложений с целью обмена данными и управлением трафиком сообщений. Используя такой подход, зачастую применяются существующие механизмы связи в виде проводных соединений Ethernet или беспроводных сетей Wi-Fi для установления соединения между устройством и сетью IP, которая, в свою очередь, подключается к облачной службе.



Рис. 3. Архитектура «от устройства к облаку»

### 3. Модели связи от устройства к шлюзу (рис. 4):

– устройство ИВ подключается через службу ALG (шлюз прикладного уровня) в качестве канала для использования облачной службы. То есть локальный шлюз обеспечивает функционирование прикладного программного обеспечения, выполняя роль посредника между устройством и «облаком», и обеспечивает безопасность, преобразование и трансформацию данных и самих протоколов.

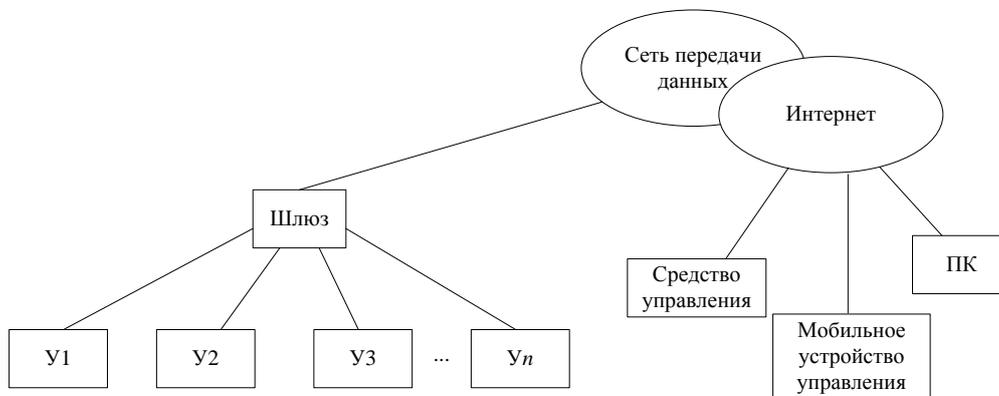


Рис. 4. Архитектура «от устройства к шлюзу»

### 4. Модель совместного использования данных на сервере (рис. 5):

– соответствует архитектуре, позволяющей пользователям использовать и обрабатывать данные интеллектуальных устройств, сочетая данные облачной службы и других источников. Такая архитектура дает возможность пользователям предоставлять доступ к данным датчиков пользователей. Данный подход соответствует модели соединения отдельных устройств с облаком, которая может привести к созданию исходной базы данных, где устройства ИВ загружают данные только для одного поставщика услуг аренды приложений. Модель совместного использования данных на сервере дает возможность объединять и анализировать получаемые от одного устройства потоки данных.

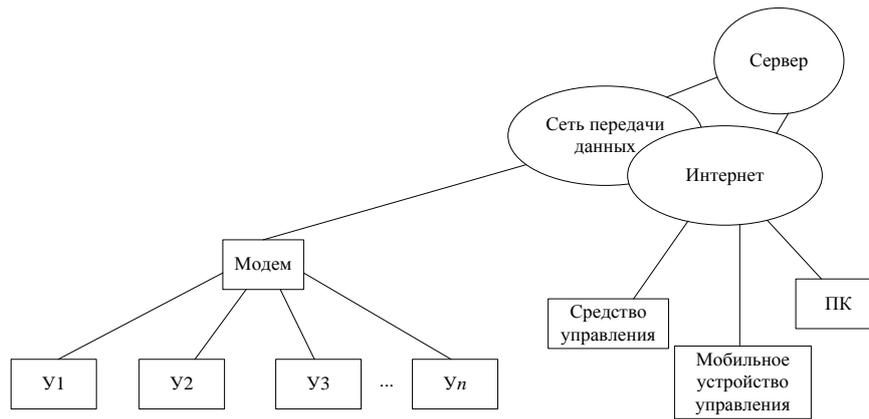


Рис. 5. Архитектура «совместного использования данных на сервере»

Архитектура ИВ описывает возможные инфокоммуникационные технологии, которые обеспечивают функционирование сети ИВ. Технически архитектура ИВ описывается четырьмя функциональными уровнями:

1 – уровень взаимодействия со средой (сенсоры и сенсорные сети). Это самый нижний уровень архитектуры ИВ, который состоит из «умных» объектов, датчиков и устройств, обеспеченных сенсорными устройствами, которые реализуют соединение физического и цифрового образов, совершая сбор и обработку информации в реальном масштабе времени.

2 – сетевой уровень. Обеспечивает транспорт большими объемами данных, создаваемых многочисленными устройствами на первом уровне ИВ, и состоит из конвергентной сетевой инфраструктуры, которая создается путем интеграции разнородных сетей в единую сетевую платформу.

3 – сервисный уровень. Является определенной базой информационных услуг, необходимых для автоматизации технологических бизнес-операций в ИВ, таких как управление бизнес-процессами, аналитическая обработка информации, хранение и обработка данных, обеспечение информационной безопасности и другими.

4 – уровень приложений. Включает различные типы приложений для соответствующих промышленных секторов и сфер деятельности, таких как энергетика, транспорт, торговля, медицина, образование и других. Приложения могут быть вертикальными, когда они являются специфическими для конкретной отрасли промышленности, а также горизонтальными, которые могут использоваться в различных секторах экономики [10].

### Когнитивный ИВ

На фоне довольно молодой концепции ИВ еще более выделяется концепция инфокоммуникационной сети так называемая когнитивный «Интернет вещей» (КИВ). В данной сети вещи как физические, так и виртуальные взаимосвязаны и взаимодействуют между собой при минимальном вмешательстве человеческого фактора. Объекты КИВ наделены собственными навыками, выражающимися в умении составлять определенное представление о своем состоянии и окружающих их объектах. Они воспринимают знания об окружающей среде и объектах, делают логические выводы из полученных и накопленных знаний, что позволяет им адаптироваться к меняющимся внутренним и внешним условиям.

Когнитивные системы ИВ воплощают в себе новые технологии, которые в совокупности позволяют понимать, обучаться, делать выводы и решать соответствующие задачи и проблемы. КИВ представляет собой новый способ межмашинного взаимодействия для обучения, анализа, исследования данных из различных внешних и внутренних источников, позволяя обрабатывать колоссальные объемы данных, упрощая их для дальнейшей интерпретации и принимая в дальнейшем на их основе рекомендации и решения.

У объекта КИВ предполагается наличие следующих свойств:

- способность к анализу своего состояния и окружающих объектов и изменение конфигураций для достижения поставленных целей, которые обусловлены исходными выполняемыми задачами;
- способность самоадаптироваться на основе имеющихся условий и событий с учетом определенных знаний и критериев о предыдущих состояниях;
- возможность динамического изменения своих топологий и/или эксплуатационных параметров на основе требований конкретного пользователя;
- способность к самоконфигурации с учетом правил и распределенного управления;
- возможность планирования работы на основе оценки состояния как собственного, так и окружающего и, как следствие, принятие решений в определенных ситуациях.

Архитектура КИВ предполагает, что в сети ИВ должны в обязательном порядке присутствовать механизмы кооперации и интеллектуальности (рис. 6). Так элементами архитектуры КИВ являются когнитивные узлы (КУ) и когнитивные элементы (КЭ), которые автономно меняют свои технические характеристики на основе анализа определенных условий.

КУ отличается от КЭ возможностью подключения к нему некогнитивных узлов. Эти элементы объединены в так называемые домены автономности (ДА), в которых они тесным образом связаны между собой на определенной территории, на которой кооперируют свое поведение, при этом сохраняя свою автономность и некоторую независимость. Так же в сети ДА могут объединяться и взаимодействовать с другими ДА, создавая мультидоменную кооперацию. Взаимодействие в ДА организовывается с помощью когнитивного агента (КА), который взаимодействует с КУ или простыми узлами и КЭ. Поэтому осуществляется взаимодействие как на уровне отдельного КЭ, так и на уровне целого домена.

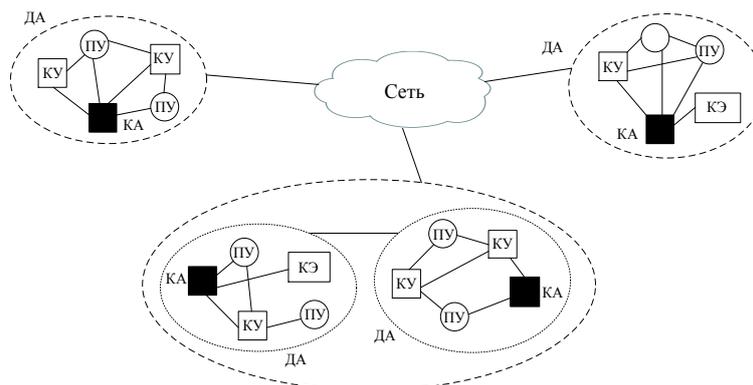


Рис. 6. Архитектура КИВ

В сети КИВ используется три варианта взаимодействия между вещами и самой сетью:

- 1 – прямой доступ, при котором необходимо наличие у каждой интернет вещи собственного IP-адреса либо сетевого псевдонима, с помощью которого появляется возможность обращения к ним из клиентских приложений и выполнения функций веб-сервера;
- 2 – доступ через шлюз, который считается наиболее рациональным способом обращения и полностью заменяет метод прямого доступа, когда необходима организация связи беспроводных сенсорных сетей или связи сети ИВ с глобальной сетью Интернет;
- 3 – доступ через сервер, при котором подразумевается наличие посредника между самим пользователем сети и интернет вещами, он реализуется с помощью посреднических платформ данных.

### Проблемы ИВ

Под вещами в сети ИВ понимаются «объекты физического мира (физические вещи) или информационного мира (виртуальные вещи), которые можно идентифицировать и интегрировать в сети связи» [1]. Таким образом, становится понятно, что признается право информационных элементов, например, контента, быть вещью, а значит, и терминалом сети.

Для этого надо только иметь идентификатор (например, IP-адрес), т. е. быть некоей идентифицированной сущностью [11].

Идентификация устройств важна как собственно для самих устройств для полноценной работы, так и для пользователей, приложений и служб ИВ в целях комплексной защиты и доверительного управления. Так как ИВ, в отличие от обычных веб-приложений, не предполагает обязательной аутентификации пользователя, то возникает доверительное управление, при котором предполагаются средства проверки местоположения датчика и его происхождения и проверки метаданных, что подразумевает готовность пользователя кооперироваться с устройствами для создания ими базы о себе в целях дальнейшего его узнавания элементами системы. Персональные данные и защита неприкосновенности частной жизни, нейтральность ИВ, информационная безопасность, совместимость и защита данных – это далеко не полный перечень возникающих проблем [12].

Идентификация устройств в сети ИВ напрямую связана с взаимодействием людей и их данных и обеспечением их конфиденциальности. Это связано с идентификаторами пользователей, напрямую определяющих конкретных людей, а также идентификаторов для сущностей, которые могут быть очень близко связаны с людьми и их деятельностью [13]. Взаимосвязанность устройств ИВ означает, что каждое недостаточно защищенное устройство, подключенное к Интернету, может повлиять на общий уровень безопасности и устойчивости системы.

Кроме проблемы ИВ, связанной с идентификацией устройств в сети, одной из основных проблем остается безопасность. Специалисты прогнозируют увеличение числа целенаправленных атак с помощью программ-вымогателей против уязвимых компонентов развертывания интеллектуальных городов, что приведет к сбоям в обслуживании граждан и заставит города вкладываться в кибербезопасность, чтобы свести к минимуму риск дальнейших атак [14]. Одной из частых лазеек со стороны безопасности является фабричный пароль устройства, который многие пользователи забывают либо не считают нужным менять, что приводит к уязвимости всей системы за счет взаимосвязанности устройств. Аналитики HPE и Forrester обращают внимание на данные проблемы и прогнозируют увеличения числа кибератак, связанных с ИВ, так как вопрос безопасности ИВ как для производителей, так и для пользователей остается второстепенным.

### Заключение

1. Рассмотрены понятия, модели и состав ИВ, приведены вариации архитектур построения сети ИВ. Дано описание четырех уровней архитектур, а также используемых протоколов связи сетей ИВ.

2. Актуальными являются вопросы идентификации устройств в сети, информационная безопасность и практическая реализация международных стандартов и рекомендаций.

3. Для логического построения сети ИВ необходимы комплексное изучение теоретических основ, приведение терминологии в единое комплексное образование, разработка моделей и алгоритмов построения систем управления локальными сетями ИВ для внедрения в учебный процесс академии связи.

## STATE AND DEVELOPMENT OF INTERNET THINGS TECHNOLOGY

U.A. VISHNIAKOU, K.A. RADKEVICH

### Abstract

The article provides an overview and analysis of existing technologies Internet of Things (IoT), considers the models and content of IoT. Variants of architectures for IoT networks construction are given. The description four architecture levels and using communication protocols for IoT. Problems of development and implementation local networks of IoT for investigation in study process of telecommunication academy are determined.

## Список литературы

1. Recommendation Y. 2060 «Overview of Internet of Things». ITU-T, Geneva. June 2012.
2. RFC 7452 «Architectural Considerations in Smart Object Networking».
3. Что такое Интернет вещей? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/a/135141>. – Дата доступа : 18.01.2020.
4. Internet of things definition [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.hpe.com/us/en/what-is/internet-of-things.html>. – Дата доступа : 18.01.2020.
5. The Internet of Things: Today and Tomorrow [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://chiefit.me/wp-content/uploads/2017/03/HPE-Aruba\\_IoT\\_Research\\_Report.pdf](http://chiefit.me/wp-content/uploads/2017/03/HPE-Aruba_IoT_Research_Report.pdf). – Дата доступа : 18.01.2020.
6. «IoT Signals» Summary of research learnings 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://azure.microsoft.com/mediahandler/files/resourcefiles/iot-signals/IoT-Signals-Microsoft-072019.pdf>. – Дата доступа : 18.01.2020.
7. Радкевич, К. А. Модель обеспечения информационного взаимодействия сети Интернет вещей / К. А. Радкевич // Инновационные технологии в телекоммуникации : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Баку, 46 дек. 2019 г. / Азерб. Техн. Ун-т. – Баку, 2019.
8. The Internet of Things (IoT) explained [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.dbbest.com/blog/the-internet-of-things/>. – Дата доступа : 05.01.2020.
9. Разумов, А. А. Разработка моделей и методов обеспечения функционирования устройств сети Интернета Вещей на основе стандарта IEEE 802.11ac в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов : дис. ... канд. техн. наук : 05.12.13 / А. А. Разумов. – СПб., 2018. – 154 л.
10. Елизаров, М. А. Модели и алгоритмы информационного взаимодействия в сетях Интернета Вещей : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / М. А. Елизаров. – СПб., 2017. – 127 л.
11. Бондарик, В. Н. Прогнозирование развития Интернета Вещей на горизонте планирования до 2030 года / В. Н. Бондарик, А. Е. Кучерявый // Труды Московского физико-технического института. – 2013. – Т. 5. – № 3. – С. 92–96.
12. Ходенкова, Э. В. Интернет Вещей как системный фактор интеграции физической, цифровой и виртуальной сред обитания человека / Э. В. Ходенкова // Манускрипт. – 2018. – № 10 (96). – С. 95–99.
13. Самойлов, М. С. Анализ трафика в современных телекоммуникационных сетях / М. С. Самойлов // Труды XII МНТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций». – Казань, 2011. – С. 214–215.
14. Интернет вещей, IoT, M2M мировой рынок [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/a/302413>. – Дата доступа : 15.10.2019 г.