

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ БЛОКЧЕЙНА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В УМНЫХ ГОРОДАХ

*Е.В. Сундюкова, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, [sundukova234k@gmail.com](mailto:sundukova234k@gmail.com).*

**УДК 004.75:004.08:332.024**

**Аннотация.** Стандартизация в приложениях умного города ограничена конкурентным давлением, связанным с запатентованными инновациями и разделением технологий. Совместимость между сетями, базами данных и программными интерфейсами приложений имеет важное значение для достижения интеллектуальных целей городской среды, поддерживаемой технологиями. В данной статье анализируются проблемы, с которыми сталкиваются умные города, а также использование блокчейна в приложениях интернета вещей. Чтобы решить эти проблемы, в исследовании предлагается рабочая модель бесконечного цикла для создания стандартизированного промежуточного облачного блокчейна для сетей интернета вещей в умных городах. Посредническая функция блокчейна устранит критические пробелы в существующих стандартах умных городов на основе распределенного интернета вещей, устанавливая соединения между узлами, пользователями и поставщиками услуг, которые становятся возможными благодаря автономным, неизменяемым и не подлежащим проверке транзакциям.

**Ключевые слова:** умный город; интернет вещей; *IoT*; блокчейн; сеть.

## STANDARDIZATION OF BLOCKCHAIN IN SMART NETWORKS OF THE INTERNET OF THINGS IN SMART CITIES

*E.V. Syundyukova, Nizhny Novgorod State University N.I. Lobachevsky.*

**Annotation.** Standardization in smart city applications is limited by the competitive pressures associated with patented innovations and technology separation. Interoperability between networks, databases, and application programming interfaces is essential to achieve the intelligent goals of an urban environment supported by technology. The problems faced by smart cities, as well as the use of blockchain in Internet of Things applications, are analyzed in this article. To solve these problems, the study proposes a working model of an infinite cycle to create a standardized intermediate cloud blockchain for the Internet of Things networks in smart cities. The intermediary function of the blockchain will eliminate critical gaps in the existing standards of smart cities based on the distributed Internet of Things, establishing connections between nodes, users and service providers, which are made possible by autonomous, immutable and non-verifiable transactions.

**Keywords:** smart city; internet of things; *IoT*; blockchain; network.

### **Введение**

Создание гибкой, адаптируемой и насыщенной информацией среды умного города требует сетевых взаимосвязей. Итеративные прорывы в области пересечения статических и динамических ресурсов произведут революцию в расширении технологических возможностей выбора в сетевой городской среде, обеспечивая интеллектуальные транзакции с учетом поведения и данных [1]. Несмотря на эти преимущества, конкурентный стимул к разделенным технологическим инновациям может привести к структурному расколу в экосистеме умного города, поскольку проприетарные модули, сети и алгоритмы

ограничивают совместимость интеллектуальных узлов и сетевой обмен информацией [2]. Совместимость, определенная *IEEE 2030.5* управляющего фонда экосистем (*Ecosystem steering committee, ESC*) – это «качество информационных и коммуникационных технологических интерфейсов, которое позволяет двум или более устройствам, или системам устанавливать соединение и успешно взаимодействовать» [3]. Совместимость между сетями, базами данных и программными интерфейсами приложений (*Application programming interface, API*) имеет решающее значение для реализации интеллектуальных целей городской среды с поддержкой технологий. Интернет вещей (*Internet of things, IoT*) реализует всеобъемлющую технологическую цель интегрированной многоузловой связи по разрозненным сетям в умных городах и с помощью маломощных и многофункциональных устройств [4].

Поскольку различные устройства собирают данные об использовании, поведении пользователей и окружающей среде, способность добывать и интерпретировать эти ресурсы данных ограничена из-за отсутствия взаимодействия между проприетарными платформами [5]. С экономической точки зрения, *IoT* – это эффективный источник прибыли, который постоянно развивается и растет [6]. Концепция умных городов значительно расширилась, учитывая сложные задачи, направленные на улучшение качества жизни граждан (*Quality of life, QoL*) и качества обслуживания (*Quality of service QoS*). В докладе Организации объединенных наций (ООН) упоминается, что более половины населения проживает в городских районах, и к 2050 г. ожидается дополнительный рост на 2,5 млрд человек [7]. Эта возросшая урбанизация существенно повлияла на условия жизни из-за увеличения пробок на дорогах, выбросов парниковых газов, углекислого газа и утилизации отходов [8].

Некоторые города признаются умными на основе своих инновационных приложений и определенных характеристик, включая цифровую интеграцию, широкополосную связь и высококвалифицированную рабочую силу. Примеры решений умных городов можно найти по всему миру. Например, технология *Tangle* в Германии используется для автоматизированной транспортной системы [9]. В Амстердаме применение интернета вещей улучшило энергосбережение, способствовало сокращению трафика и повышению уровня безопасности, а в Барселоне сенсорная технология используется для оценки транспортного потока при проектировании новой автобусной сети [10]. Более того, в Корее наряду с автоматизированным строительством используется интеллектуальная система уличного освещения [11], аналогичная Японии, Нидерландам и Англии [12-13].

Технология блокчейн (*Blockchain, BC*) или технология распределенного реестра (*Distributed ledger technology, DLT*) изменит образ жизни людей, поскольку она позволяет осуществлять децентрализованные, безопасные, сохраняющие конфиденциальность и прозрачные транзакции, повышая доверие к приложениям умных городов и, следовательно, ускоряя их внедрение и использование гражданами [14]. Ранее база данных и сети контролировались посредником, однако в *BC* каждый участник вносит свой вклад в сеть и обладает элементами управления. Применение *BC* в умных городах имеет потенциал широкого распространения благодаря его децентрализованному характеру и потенциалу автоматизации [15].

### **Цель исследования**

Совместимость технологий умного города ограничивается корпоративными коммерческими целями, следовательно, для облегчения технологической совместимости необходимо объединяющее решение, которое соединяет узлы интернета вещей по всей городской структуре. Цель данного исследования –

критически проанализировать текущий уровень прогресса в решениях для умных городов на основе интернета вещей и обеспечить основу для интеграции блокчейна в приложения для умных городов на основе интернета вещей.

### Интернет вещей и умные города

Обычно интернет вещей определяется как широкая система взаимосвязанных вычислительных устройств, которые могут собирать и передавать данные по беспроводной сети без участия человека, обладающая ограниченными возможностями хранения и обработки данных. Целью интеграции интернета вещей в умных городах является повышение производительности, надежности и безопасности инфраструктуры [16]. На рис. 1 показана традиционная сетевая архитектура центров обработки данных.

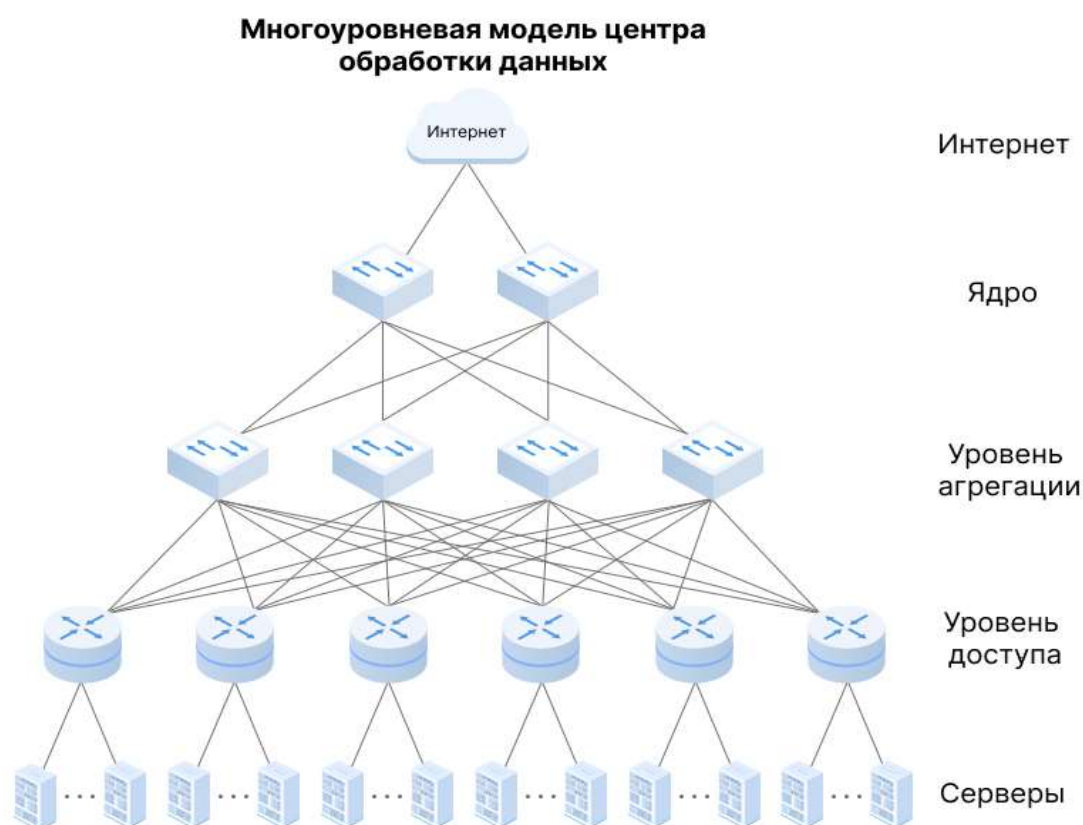


Рисунок 1

При наличии устройств, подключенных к интернету, информация обнаруживается и собирается. *IoT* также распределяет данные через интернет-коммуникационную сеть на различные устройства. Глобальные системы позиционирования, устройства радиочастотной идентификации, камеры и датчики – примеры этих устройств. С точки зрения возможностей работы в сети и ограничений устройств сетевой уровень отвечает за перемещение данных. Для передачи информации от устройства восприятия к ближайшему с помощью шлюза, который использует коммуникационные возможности, оно интегрируется в комбинацию нескольких сетей ближнего действия, таких как *ZigBee* и *Bluetooth*. *Wi-Fi*, *4G* и связь по линии электропередачи используются для передачи данных в более далеком диапазоне [17].

## Блокчейн и экосистемы умных городов

Поведение людей, технические узлы и институциональное администрирование – все это интегрировано в единую сервисную архитектуру, как показано на рис. 2, в качестве основного элемента экосистемы умного города. Чтобы соответствовать требованиям системы к предоставлению услуг, эта модель определяет шесть ключевых аспектов эффективного управления данными *ВС*: автоматический сбор данных, безопасность данных, распределенность данных, прозрачность и конфиденциальность, надежность, а также демократизированность [18]. На рис. 2 показаны особенности управления и вычислений сервисов совместного использования на основе блокчейна.

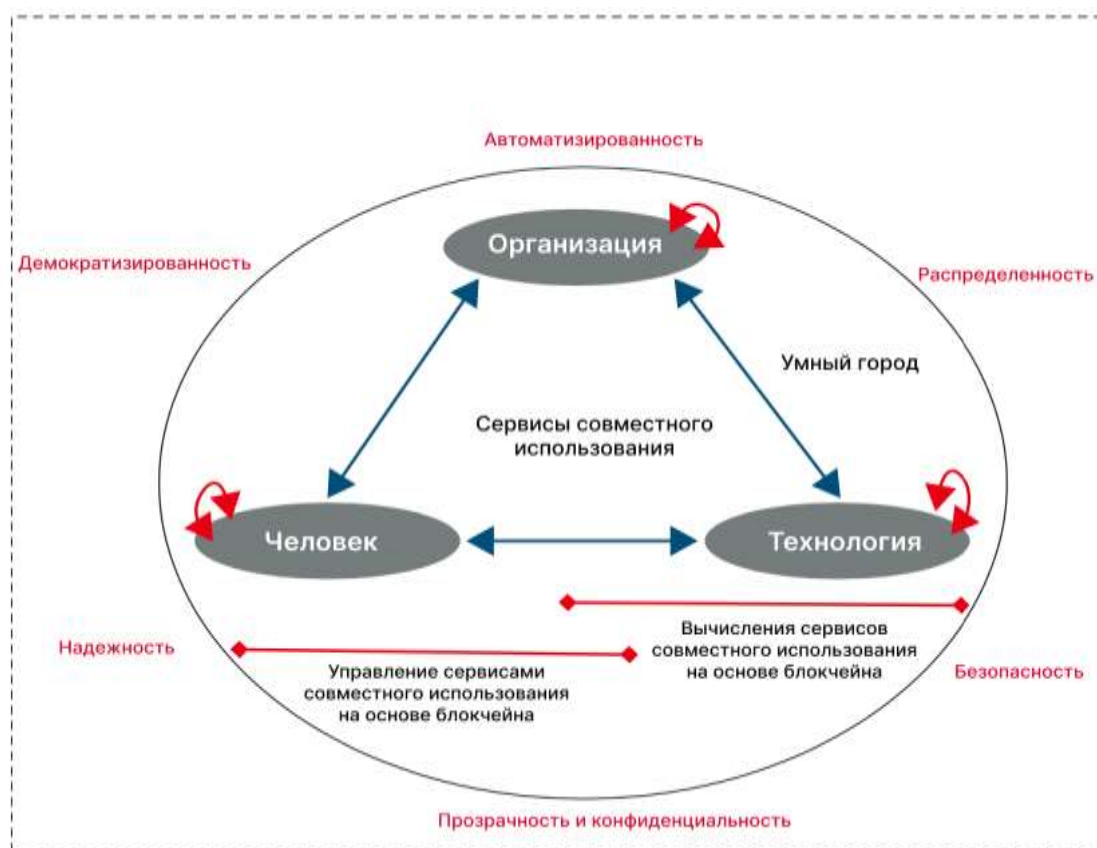


Рисунок 2

В Бруклине была построена энергетическая сеть на основе блокчейна, позволяющая домохозяйствам с солнечными панелями отслеживать выработку и потребление энергии, упрощая подсчет системных кредитов и дебетов. В то же время, аналогичные решения были предложены для других возможностей выставления счетов на уровне обслуживания, таких как здравоохранение. Данная реализация децентрализованной системы взимания платы без посредников в конечном итоге обеспечит эффективность, необходимую для минимизации сетевых затрат [19]. Путем агрегирования данных о расходах на здравоохранение страховые компании и поставщики услуг смогут взаимодействовать с данными клиентов, отслеживая спрос и предлагая скидки в зависимости от состояния здоровья, эффективности платежей и вовлеченности в сеть (например, при посещении своего поставщика первичной медицинской помощи). Именно объединение служб управления данными с помощью централизованных облачных решений с маршрутизацией по сети обеспечивает бесшовную интеграцию,

поскольку потребители добавляют дополнительные уровни технологий и информационных ресурсов к своим сетевым подключениям.

В Европейском союзе проект *DECODE* был разработан в сотрудничестве с региональными правительствами в крупных городских центрах, таких как Барселона, Каталония и Амстердам, чтобы позволить потребителям не только получать доступ к данным, собранным с помощью интернета вещей, но и осуществлять контроль над тем, как эти данные передаются сторонним организациям и поставщики услуг [20]. Потребители получают доступ к сетевым данным с помощью решения *DECODE*, подтверждая свою личность онлайн, что позволяет им напрямую взаимодействовать с программными решениями для управления идентификацией, оплаты и ведения записей. Для потребителей средства контроля конфиденциальности и мониторинга не только обеспечили бы защиту, но и побудили бы предприятия устанавливать более прозрачные стандарты управления информацией в ответ на запросы потребителей и промышленности.

### **Интегрированный стандарт *ВС* для умных городов на основе интернета вещей**

Из-за масштаба технологии интернета вещей, ограниченной вычислительной мощности отдельных узлов и уязвимости сетевых подключений крайне важно, чтобы любое координирующее решение касалось уникальных проблем масштабируемости и безопасности интернета вещей. Являясь «узлом с ограниченным доступом», каждое аппаратное устройство интернета вещей обладает недостаточными вычислительными и коммуникационными возможностями, что ограничивает его способность эффективно обеспечивать защиту и мониторинг от нарушений безопасности и незаконной деятельности. В то время как решения *ВС* способны облегчить нагрузку на аутентификацию *IoT*, требуется постепенно уменьшать размер выполняемого программного кода, меняя структуру сети подключения с помощью распределенного решения, которое включает в себя как полные (транзакционные), так и легкие (добавляющие) узлы. Эта сетевая конструкция, основанная на протоколе периферийных вычислений, зависит от того, что называют централизованной распределительной сетью и удаленными сайдчейн-сетями, которые соединяют устройства интернета вещей с промежуточными нотариальными узлами в *ВС*.

Архитектура проверки перекрестных транзакций, которая является производной от центральной концептуальной основы сети *Helium* и *Tangle* [21], обеспечивает параллельный консенсус и аутентификацию, подтвержденную транзакцией, гарантируя при этом отсутствие конфликта между текущей и любыми предыдущими транзакциями. Технологии *ВС* были созданы как децентрализованный ответ на присущую системам онлайн-транзакций уязвимость к нарушениям безопасности. В результате решение проблем безопасности, доверия и интеграции, связанных с проприетарной сетевой архитектурой в инновациях умного города, заключается в построении *ВС* как функциональной, стандартизированной промежуточной базы данных.

Как видно из рис. 3, решение представляет собой интегрированную структуру для технологии *ВС* в контексте умных городов на основе интернета вещей. Идея централизует процесс передачи данных в однородном, доступном по сети облаке, где владельцы данных и потребители могут предоставлять или ограничивать доступ к своим данным. Как регистр транзакций, *ВС* действует как центральное хранилище данных, отслеживая приток и отток пользовательских данных. Хотя опасения по поводу анонимности и мониторинга пользователей реальны, система *BC sensing* позволит избежать необходимости централизованной

аутентификации, предоставляя наборы данных с ограниченным доступом и целенаправленным мониторингом для конкретных пользователей. Система требует наличия договорного соглашения между пользователем и программным узлом с поддержкой интернета вещей, который реализуется с помощью прозрачных и адаптивных контрактов конфиденциальности, встроены в блокчейн-решение. В результате предлагаемая архитектура обеспечивает центральную базу данных *ВС* в качестве базового агента для получения и распространения информации о поведении пользователя. *API*-интерфейсы и проприетарное программное обеспечение соединяют периферию базы данных, направляя пользовательские данные через интегрированную экосистему аппаратных узлов. Аутентификация *ВС* обеспечивает надежность хранения пользовательской информации и сохранение данных путем цифровой проверки пользовательских соглашений и контрактов с использованием универсального языкового стандарта. Предложения по интеграции, основанные на этой уникальной парадигме, включают интеграцию отслеживания перемещений на основе *GPS*, например, между домом, автомобилем пользователя и его местом работы, тем самым создавая механизм трехточечной оценки для прогнозирования эффективности и быстродействия системы. На рис. 3 показана высокоуровневая модель интеграции блокчейна в рамках умного города на базе интернета вещей.

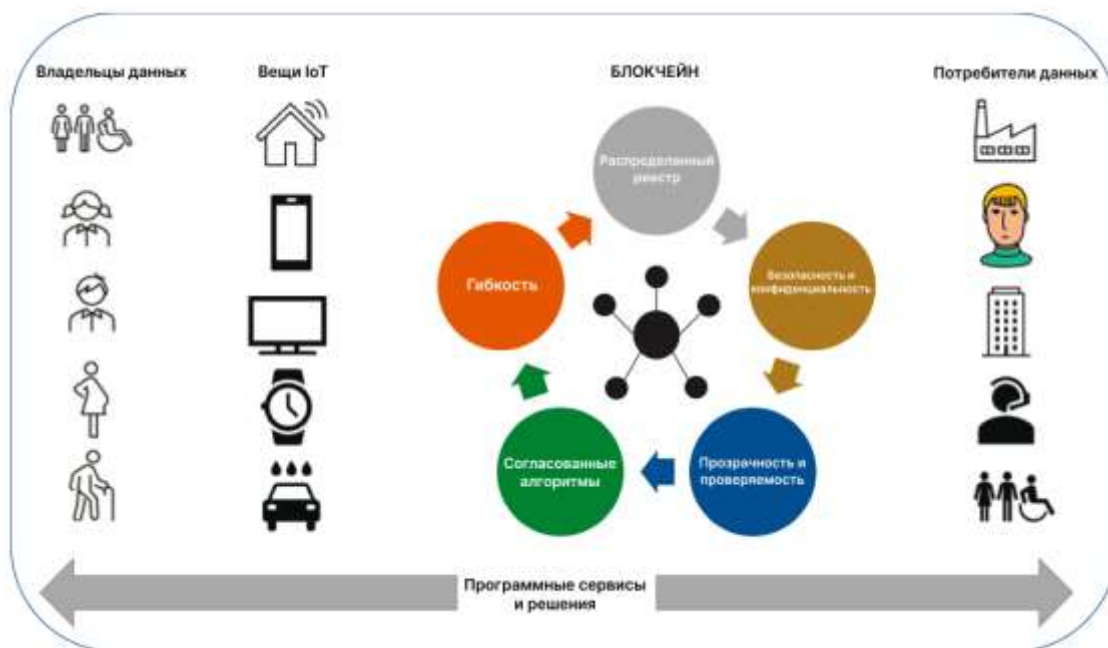


Рисунок 3

Прототип на рис. 4 иллюстрирует предлагаемое сервисное решение *ВС*, которое поддерживает совместимость как с открытым исходным кодом, так и с проприетарным программным обеспечением для пользовательских интерфейсов и *API*, объединяя операции по управлению данными в централизованный реестр. Таким образом, вещи *IoT* будут работать в рамках своего собственного программного обеспечения, но будут инициировать обмен данными в соответствии с протоколом совместного использования, заполняя блокчейн необходимыми наборами данных. Несмотря на то, что это зависит от способа транзакции, который тестируется и исследуется на практике, решение *ВС*, основанное на установленном стандарте обмена, таком как *Ethereum*, обеспечивает основу бесконечного цикла



для интеграции на основе консорциума *IoT*. На рис. 4 представлено применение интеграции блокчейна в рамках умного города на базе интернета вещей.

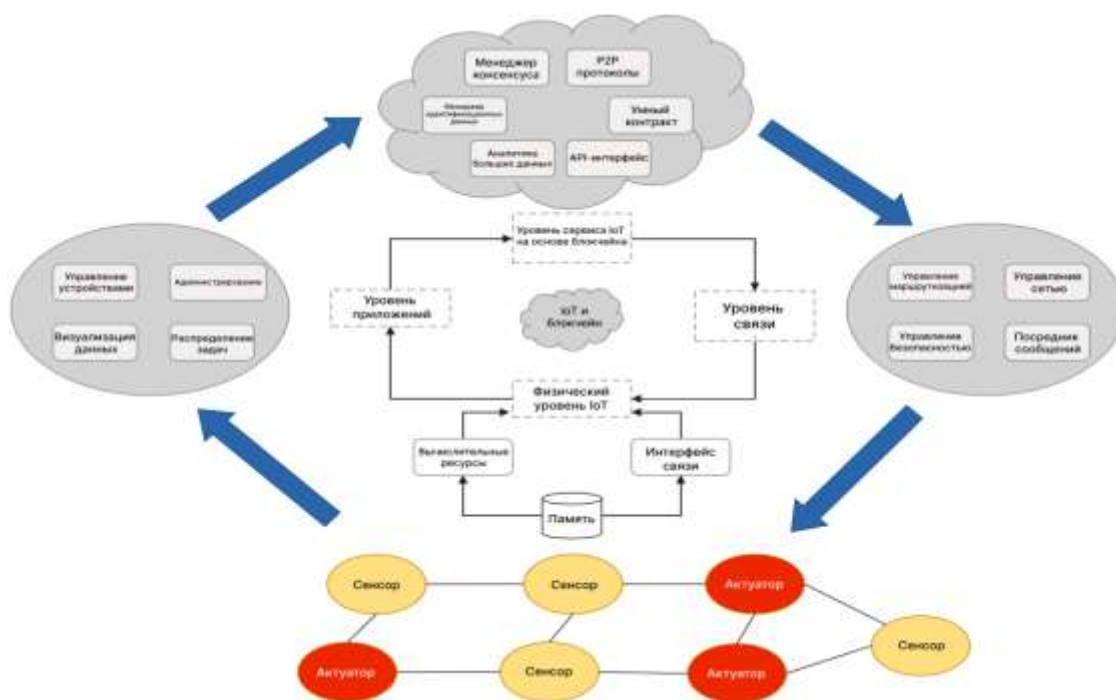


Рисунок 4

### Заключение

В данной статье кратко излагаются концептуальные основы решений для умных городов, интеграции интернета вещей и администрирования баз данных с использованием технологии блокчейн. Более насущным требованием является децентрализованный, широкодоступный стандарт проверки безопасности и аутентификации. Исследование, приведенное в статье, продемонстрировало преимущества *BC*, выступающего в качестве стандартной концепции подтверждения работоспособности для легитимизации информационных потоков внутри сети. Исследование также подтвердило, что для того, чтобы решения для умных городов на основе интернета вещей вышли за рамки своих системных ограничений, существует настоятельная необходимость в пересмотренном стандарте практики, который существует за пределами существующего частного состояния систем управления данными, ограниченных разработчиками [22-23].

### Литература

1. Gupta A., Christie R. Manjula R. Scalability in the Internet of Things: features, techniques and research challenges. International Journal of Computational Intelligence Research. – Vol. 13. – No. 7. – pp. 1617-1627.
2. Silva B.N., Khan M. Han K. Towards sustainable smart cities: a review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. Sustainable Cities and Society, 2018. – Vol. 3. – pp. 697-713.
3. Lingjun F., Gil-Garcia J.R., Werthmuller D., Burke G.B. Hong X.F. Investigating blockchain as a data management tool for IoT devices in smart city initiatives, in Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age. – pp. 1-2, Delft, The Netherlands, May 2018.

4. Fraga-Lamas P., Fernández-Caramés T., Suárez-Albela M., Castedo L., González-López M. A review on internet of things for defense and public safety. *Sensors*, 2016. – vol. 16. – no. 10. – pp. 1644.
5. Hancke G., Silva B. Hancke Jr. G. The role of advanced sensing in smart cities, *Sensors*, 2013. – vol. 13. – pp. 393-425.
6. Muhammad M.F., Anjum W. Mazhar K.S. A critical analysis on the security concerns of internet of things (IoT), *International Journal of Computer Application*, 2015. – vol. 111. – pp. 1-6.
7. Finch K., Tene O. Smart cities: privacy, transparency, and community». *The Cambridge Handbook of Consumer Privacy*. Cambridge University Press, 2018. – p. 125.
8. Намиот Д.Е. Базы данных временных рядов в системах «Интернета вещей». – М.: Синергия, 2017. – 399 с.
9. Traffic T.A. and IOS. The best app selection for Barcelona, Apps4bcn, all the Apps You Need for Barcelona, Available [Online]: <http://apps4bcn.cat/en/apps/index/Category:transport-i-trnsit>
10. City S., Premsa S. El web de la Ciutat de Barcelona Available [Online]: <http://ajuntament.barcelona.cat/premsa/tag/smart-city/>
11. Strickland E. Cisco bets on South Korean smart city, *IEEE Spectrum*, 2011. – vol. 48. – pp. 11-12.
12. Hancke G., Silva B. and Hancke Jr. G. The role of advanced sensing in smart cities, *sensors*, 2013. – vol. 13. – pp. 393-425.
13. Bakıcı T., Almirall E. and Wareham J. A smart city initiative: the case of Barcelona, *ISSN*, 2013. – vol. 4. – pp. 135-148.
14. Ismail L., Materwala H. Article A review of blockchain architecture and consensus protocols: use cases, challenges, and solutions, *symmetry*, 2019. – vol. 11. – no. 10. – p. 1198.
15. Kitchin R. Getting Smarter about Smart Cities: Improving Data Privacy and Data Security, Department of the Taoiseach, Ireland, 2016, [https://www.researchgate.net/publication/293755608\\_Getting\\_smarter\\_about\\_smart\\_cities\\_Improving\\_data\\_privacy\\_and\\_data\\_security](https://www.researchgate.net/publication/293755608_Getting_smarter_about_smart_cities_Improving_data_privacy_and_data_security)
16. Грингард Сэмюэл. Интернет вещей: Будущее уже здесь. – М.: Альпина Диджитал, 2015. – 426 с.
17. Lee J.-H., Singh K.D., Hadjadj-Aoul Y., Kumar N. Wireless and mobile technologies for the internet of things, *mobile Information Systems*, 2016. – vol. 2016, – pp. 1-2. Article ID 8206548.
18. Sun J., Yan J., Zhang K.Z. Blockchain-based sharing services: what blockchain technology can contribute to smart cities, *Financial Innovation*, 2016. – vol. 2. – pp. 1-9.
19. Kundu D. Blockchain and trust in a smart city, *environment and Urbanization ASIA*, 2019. – vol. 10. – no. 1. – pp. 31-43.
20. Townsend A.M. *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New utopia*, WW Norton & Company, New York, NY, USA, 2013.
21. Как обезопасить Интернет вещей [Электронный ресурс]. URL: <http://rusbase.com/story/IoT-security/> (10.02.2023).
22. Проблемы и перспективы Интернета вещей [Электронный ресурс]. URL: <http://rusbase.com/opinion/russian-iot/> (10.02.2023).
23. Бренев А. Компоненты для систем EnOcean // *Беспроводные технологии*, 2014. – № 1. – С. 3-34.