

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ КАК РЕВОЛЮЦИОННЫЙ СКАЧОК РАЗВИТИЯ

И. А. Кубасов

Академия управления МВД РФ, Москва, Россия
igorak@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В условиях цифровой трансформации государственного управления и бизнеса весьма важным является определение роли и места каждой из сквозных технологий, указанных в национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации». В рамках данной статьи исследованы роль и место одной из технологий – промышленного Интернета вещей в приборостроении, спрогнозированы основные направления развития промышленного Интернета вещей для успешной цифровой трансформации приборостроения. *Материалы и методы.* Методами исследования избраны: анализ зарубежного и отечественного опыта разработки и внедрения сквозной технологии – Интернета вещей; обобщение результатов анализа; определение роли и места промышленного Интернета вещей в приборостроении; прогноз основных направлений развития промышленного Интернета вещей для успешной цифровой трансформации приборостроения. *Результаты.* Обосновано: основными преимуществами промышленного Интернета вещей для приборостроения являются снижение производственных затрат, рост производительности труда, повышение надежности и качества производимого продукта; промышленный Интернет вещей выступает ключевым драйвером развития цифровой трансформации промышленного производства, особенно приборостроения, основанного на применении цифровых инструментов и ресурсов. Спрогнозированы основные направления дальнейшего развития ИИТ для успешной цифровой трансформации промышленного производства и, в частности, приборостроения: переход производства на экономику сервисов – «оборудование как услуга»; трансформация облачных ИИТ-платформ в инструмент кардинального повышения эффективности производственных систем; создание на основе ИИТ и других цифровых технологий «интеллектуальной цифровой сети» как Интернета будущего, характеризующегося интеллектуальными устройствами, предоставляющими персонализированные и предсказательные цифровые услуги. *Выводы.* Промышленный Интернет вещей становится следующим революционным скачком развития, сравнимым с изобретением парового двигателя или индустриализацией электричества.

Ключевые слова: промышленный Интернет вещей, приборостроение, цифровая трансформация, надежность, качество

Для цитирования: Кубасов И. А. Промышленный интернет вещей как революционный скачок развития // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 2. С. 83–89. doi:10.21685/2307-4205-2023-2-9

INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS AS A REVOLUTIONARY LEAP IN DEVELOPMENT

I.A. Kubasov

Academy of Management of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia
igorak@list.ru

Abstract. *Background.* In the context of digital transformation of public administration and business, it is very important to determine the role and place of each of the end-to-end technologies embedded in the national program "Digital Economy of the Russian Federation". Within the framework of this article, the role and place of one of the technologies – the industrial Internet of Things in instrumentation is investigated and the main directions of the development of the industrial Internet of Things for the successful digital transformation of instrumentation are substantiated. *Materials and methods.* The research methods are chosen: analysis of foreign and domestic experience in the development and implementation of end-to-end technology – the Internet of Things; generalization of the results of the analysis; determination of the role and place of the industrial Internet of Things in instrumentation; forecast of the main directions of development of the industrial Internet of Things for successful digital transformation of instrumentation. *Results.* It is proved: the main advantages of the industrial Internet of Things for instrumentation are reduction of production costs, increase in labor productivity, increase in reliability and quality of the manufactured product; the industrial Internet of

Things is a key driver of the development of digital transformation of industrial production, and especially instrumentation based on the use of digital tools and resources. The main directions of further development of IIoT for the successful digital transformation of industrial production and, in particular, instrumentation are predicted: the transition of production to the economy of services – "equipment as a service"; the transformation of cloud IIoT platforms into a tool for radically improving the efficiency of production systems; the creation of an "intelligent digital network" based on IIoT and other digital technologies, like the Internet a future characterized by intelligent devices providing personalized and predictive digital services. *Conclusions.* The industrial Internet of Things is becoming the next revolutionary leap in development, comparable to the invention of the steam engine or the industrialization of electricity.

Keywords: industrial Internet of things, instrumentation, digital transformation, reliability, quality

For citation: Kubasov I.A. Industrial internet of things as a revolutionary leap in development. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2023;(2):83–89. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2023-2-9

Введение

Цифровая трансформация государственного управления и бизнеса предполагает переход к новой, более эффективной системе управления на основе высоких технологий. В национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» указан ряд сквозных технологий: большие данные; искусственный интеллект; технологии беспроводной связи; технологии виртуальной и дополненной реальности; новые производственные технологии («цифровой двойник»); промышленный интернет и др. [1]. При этом Правительством Российской Федерации определены три стратегические технологии в области цифровой трансформации государственного управления: искусственный интеллект; большие данные; Интернет вещей [2]. Все эти сквозные технологии – инновационные средства изменений, позволяющие войти в качественно новый мир [3]. Инновации уже влияют на производство, безопасность, социальную сферу, культуру и все остальные области нашей жизни. С уверенностью можно констатировать о новой четвертой промышленной революции [4].

Интернет вещей (от англ. IoT – *internet of things*) – это сеть, объединяющая физические объекты, которые имеют встроенные технологии, позволяющие осуществлять взаимодействие с внешней средой, передавать сведения о своем состоянии и принимать данные извне с помощью Wi-Fi, Bluetooth или проводной связи [5, 6]. Особую роль и место в цифровой трансформации занимает промышленный Интернет вещей (от англ. IIoT – *industrial internet of things*) – по сути, сегмент Интернета вещей, который непосредственно связан с производством, где осуществляется сбор данных в режиме реального времени с помощью различных датчиков (сенсоров) и анализ полученной информации.

Следует отметить, что цифровая трансформация промышленного производства, основанная на применении цифровых технологий, в том числе промышленного Интернета вещей, наряду с возможностями несет риски, которые важно осознавать и компенсировать. Только представьте, что может случиться, если хакер подключится к платформе «умного» приборостроительного производства и перехватит управление производством систем контроля и диагностирования радиоэлектронной аппаратуры?

Более того, ожидается, что количество угроз безопасности будет расти по мере того, как устройства промышленного Интернета вещей становятся все более распространенными. Gartner прогнозирует, что 25 % хакерских атак будут связаны с IoT, а расходы на безопасность IoT достигнут \$547 млн в год [6]. Так что обеспечить не только качество и надежность «умных» систем, оптимизировать их стоимость, но и обеспечить их безопасность – важные задачи, стоящие перед разработчиками.

При этом конечный эффект от этих цифровых преобразований трудно спрогнозировать с учетом возникающих новых вызовов (негативного фактора) и возможного синергетического эффекта от взаимного влияния на развитие сквозных технологий (позитивного фактора). Поэтому весьма актуальным является системный подход к разработке и внедрению сквозных технологий, а также определение роли и места каждой из сквозных технологий в цифровой трансформации.

В рамках данной статьи исследованы роль и место одной из технологий – промышленного Интернета вещей в приборостроении и спрогнозированы основные направления дальнейшего развития промышленного Интернета вещей для успешной цифровой трансформации приборостроения.

Материалы и методы

Методами исследования избраны: анализ зарубежного и отечественного опыта разработки и внедрения сквозной технологии – Интернета вещей; обобщение результатов анализа; определение роли и места промышленного Интернета вещей в приборостроении; прогноз основных направлений

дальнейшего развития промышленного Интернета вещей для успешной цифровой трансформации приборостроения.

Результаты

Весьма важный сегмент Интернета вещей – промышленный Интернет вещей (IIoT), представляющий собой многоуровневую систему, включающую датчики и контроллеры, установленные на узлах и агрегатах промышленного объекта, средства передачи собираемых данных и их визуализации, мощные аналитические инструменты интерпретации получаемой информации и многие другие компоненты (рис.1).

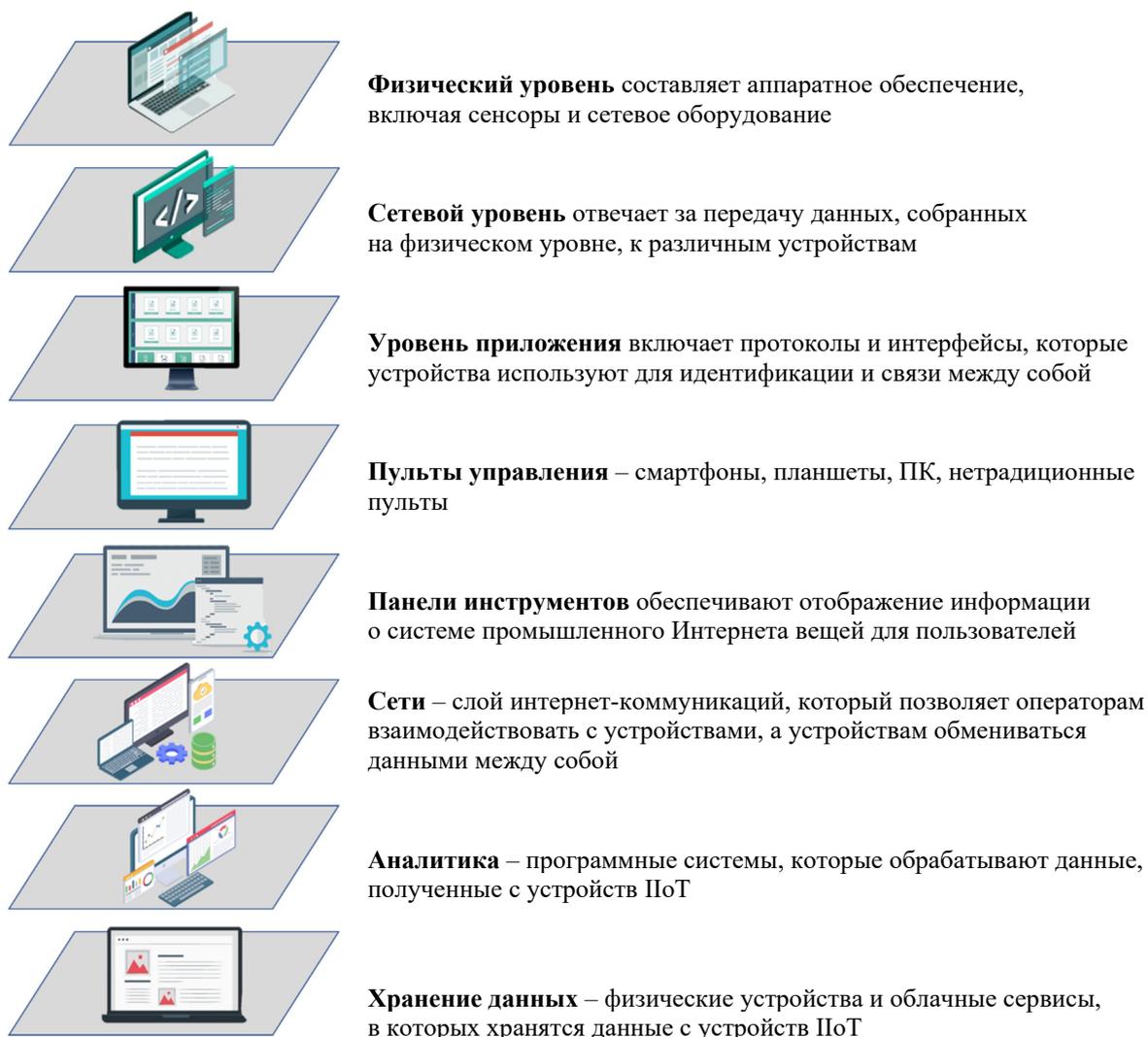


Рис. 1. Уровни IIoT

Рассматривая IIoT как мощную сквозную технологию, которая позволяет более быстро и эффективно отслеживать, анализировать и контролировать производственные процессы, можно выдвигать следующие гипотезы:

1) IIoT выступает ключевым драйвером развития цифровой трансформации промышленного производства и особенно приборостроения, основанного на применении цифровых инструментов и ресурсов;

2) основные направления дальнейшего развития IIoT для успешной цифровой трансформации промышленного производства и, в частности, приборостроения: переход производства на экономику сервисов – «оборудование как услуга»; трансформация облачных IIoT-платформ в инструмент кардинального повышения эффективности производственных систем; создание на основе IIoT и других цифровых технологий «интеллектуальной цифровой сети» как Интернета будущего, характеризуемого

интеллектуальными устройствами, предоставляющими «проницательные» (персонализированные и предсказательные) цифровые услуги.

Попытаемся подтвердить выдвинутые гипотезы следующими рассуждениями.

Сфера применения промышленного Интернета вещей с каждым годом расширяется по мере наращивания перечня промышленных устройств. Однако чтобы система работала, требуется применение другой сквозной технологии – беспроводной связи. Она способна ускорить развитие Интернета вещей и открыть совершенно новые горизонты. Так, к сетям 5G смогут одновременно подключиться гораздо больше пользователей, примерно на 1000 устройств больше на каждый метр. Все они будут обеспечивать стабильно высокое качество связи и скорость загрузки данных (в 20 раз больше, чем у 4G). Кроме того, технология более бережно относится к батарее: устройство будет разряжаться медленнее. Прогнозируют, что скорость в сетях шестого поколения может достигать до 1 Тбит/с, а для управления сетями потребуются искусственный интеллект.

Основными компонентами IoT являются передовые аналитические инструменты, основанные на технологиях искусственного интеллекта, и большие данные. Именно уровень IoT «Аналитика» обеспечивает превращение промышленного Интернета вещей в стратегический инструмент кардинального повышения эффективности производства.

Перемещение аналитики ближе к источникам данных поможет повысить качество производства и продукции. С появлением недорогих датчиков и процессоров становится возможным собирать и обрабатывать все больше и больше данных о производстве. Граничные («туманные») расчеты со встроенной аналитикой становятся приемлемой альтернативой в тех случаях, когда запускать аналитику в облаке небезопасно или по каким-то причинам отказались от облачного решения.

Благодаря применению технологий IoT появилась возможность внедрения еще одной сквозной технологии – «цифровых двойников» – как пример новых производственных технологий. «Цифровой двойник» на производстве позволяет получить нужную информацию о продукте на разных этапах его жизненного цикла: при создании, в процессе эксплуатации, развития, по итогам использования. Данные в режиме реального времени от датчиков, встроенных в физические объекты или из других источников, могут использоваться для решения аналитических задач, таких как мониторинг состояния, диагностика отказов и прогнозная аналитика. Полученные знания могут увеличить стоимость производственных активов предприятия.

Также IoT помогает разрабатывать технологии дополненной и виртуальной реальности (AR/VR). Обучение новых сотрудников с помощью тренажеров может быть наиболее эффективным способом. Технологии, используемые в IoT, такие как игры, дополненная/виртуальная реальность и 3D-погружение с использованием носимых устройств, позволяют с высокой степенью точности имитировать реальные производственные процессы.

Промышленный Интернет вещей предлагает революционный уровень видимости в производственном цехе всех операций, а также возможность удобного управления ресурсами предприятия. Технологии IoT заполняют пробелы, из-за которых такие системы, как ERP и MES, достигают своих пределов: зависимость от ручного ввода данных и невозможность работы с подробной информацией (записи о состоянии оборудования в режиме реального времени, местонахождение товарно-материальных ценностей и т.д.).

Развитие IoT влияет и на предложение элементной базы, и на снижение стоимости, и на предложение интеграционных решений различного мониторинга и систем обратного регулирования. При этом развитие внедрения датчиков охватывает как исторически «железные» отрасли физического реального производства и продуктов, как роботы и автономные устройства, так и сферу услуг, в том числе финансовых.

Следовательно, основными преимуществами промышленного Интернета вещей для приборостроения являются снижение производственных затрат, рост производительности труда, повышение надежности и качества производимого продукта. В настоящее время именно облачные IoT-платформы играют роль основного драйвера развития приборостроительного производства. В силу этого можно спрогнозировать два основных направления развития промышленного Интернета вещей для успешной цифровой трансформации приборостроения.

Первое направление – внедрение сервиса «оборудование как услуга», позволяющего разрабатывать новые виды технологического оборудования для изготовления деталей, сборки, регулировки, контроля и испытаний приборов с учетом решения вопросов обеспечения их надежности, экологической безопасности окружающей среды. Что это значит: вендоры предлагают сервис «оборудование

как услуга», гарантируя работоспособность оборудования, беря на себя обязательства по его обслуживанию. На основе регулярного сбора и анализа информации об условиях эксплуатации прогнозируются возможные поломки и их своевременное предотвращение.

Еще одно направление развития – трансформация облачных IoT-платформ в инструмент кардинального повышения эффективности производственных систем. Облачные IoT-платформы позволяют оптимизировать производственные процессы: обеспечить точность операций, сократить складские запасы, минимизировать ошибки персонала и время человеческого вмешательства. Все это даст возможность значительно увеличить объемы производства, сэкономить средства, повысить надежность и качество любого продукта.

Обсуждение

Проникновение Интернета и принципов совместной экономики (от англ. *sharing economy*) в производственные процессы и сферы человеческой жизни уже не воспринимается как взлом. Технологии создания открытого программного кода или другой ценности для потребителей в режиме краудсорсинга (от англ. *crowdsourcing*, от *crowd* – толпа и *sourcing* – использование ресурсов) не считаются разглашением коммерческой тайны [7]. В результате имеем новые сервисы, которые все более персонализированы и удобны для потребителя, а многие визионеры любят предсказывать, что следующая индустриальная революция будет связана именно с персонализацией.

Предоставляя производителям посекундные данные об операциях в цехах, IoT позволяет предприятиям значительно повысить производительность производственного процесса. IBM сообщает, что использование аналитических данных IoT для оптимизации производственного процесса может привести к увеличению количества продуктов на той же производственной линии до 20 % [8].

Приложения IoT, которые позволяют производителям получить более высокий уровень вертикальной видимости, делятся на две группы:

- приложения, поддерживающие производственные операции;
- приложения, облегчающие управление промышленными активами.

Согласно исследованию McKinsey, к 2025 г. улучшения операций, вызванные приложениями IoT, могут стоить более 470 миллиардов долларов в год [9]. Приложения IoT для производства связаны с такими операциями, как мониторинг и оптимизация производительности оборудования, контроль качества производства и взаимодействие человека с машиной.

Согласно исследованию ITIF, приложения IoT для мониторинга использования машин могут повысить производительность производства на 10–25 % и создать к 2025 г. глобальную экономическую стоимость до 1,8 трлн долл. [8, 9].

Мониторинг использования машины начинается с получения соответствующих данных о рабочих параметрах машины, например, времени работы, фактической рабочей скорости, выходе продукта и т.д., с датчиков, систем SCADA или DCS. Данные собираются в режиме реального времени и передаются в облако для обработки. Облако агрегирует данные и превращает их в информативную информацию о ключевых показателях эффективности использования оборудования (ТЕЕР, ОЕЕ, время настройки и настройки, холостой ход и незначительные остановки и т.д.). После анализа данных результаты визуализируются и отображаются через пользовательское приложение (веб- или мобильное).

Мониторинг качества производимой продукции может осуществляться двумя способами: путем проверки незавершенного производства (от англ. *WIP* – *work in progress*) по мере ее прохождения по производственному циклу или путем контроля состояния и калибровки машин, на которых производится продукция.

Контроль качества, основанный на проверке *WIP*, дает более точные результаты (помогает выявить мелкие дефекты, скажем, неточности в соосности деталей), однако существуют определенные ограничения, затрудняющие использование метода. Контроль качества на основе проверки незавершенного производства применим только для дискретного производства. Это дорого, требует много времени и труда, так как *WIP* проверяются вручную.

Второй метод, основанный на контроле за состоянием и калибровке машин, предлагает меньшую дифференциацию по объему – он обеспечивает простую бинарную классификацию «хорошо» и «плохо». Тем не менее он помогает обнаруживать узкие места в производственных операциях, выявлять плохо настроенные и/или неэффективные машины, своевременно предотвращать поломки машин и многое другое.

Наряду с повышением эффективности производственных операций промышленный Интернет вещей применяется в производстве для обеспечения надлежащего использования активов, продления срока службы оборудования, повышения надежности и обеспечения наилучшей отдачи от активов. Приложения ПоТ, облегчающие управление промышленными активами, включают: отслеживание промышленных активов; управление запасами; профилактическое обслуживание (на основе мониторинга состояния).

Решения для управления запасами на основе промышленного Интернета вещей помогают производителям автоматизировать отслеживание запасов и отчетность, обеспечивать постоянную видимость статуса и местонахождения отдельных единиц запасов и оптимизировать время выполнения заказа.

По данным Deloitte, решения для профилактического обслуживания на основе промышленного Интернета вещей, как ожидается, снизят затраты на техническое обслуживание заводского оборудования на 40 % и к 2025 г. принесут экономическую выгоду в размере 630 млрд долл. в год проекты профилактического обслуживания [9].

Исследователи используют признанные шаблоны данных в качестве основы для создания прогностических моделей. Модели обучаются, тестируются, а затем используются для определения возникновения каких-либо зарождающихся проблем, прогнозирования вероятного отказа машины, точного определения условий эксплуатации и моделей использования машины, которые приводят к отказам и т.д.

Например, параметры состояния машины (температура, вибрация и т.д.), рабочие параметры (скорость, давление и т.д.) и параметры окружающей среды (влажность, температура и т.д.) находятся в пределах нормальных пороговых значений. Однако объединение этих параметров и анализ объединенного набора данных в сравнении с прогностическими моделями помогает выявить, что сочетание нормальных параметров, взятых по отдельности, может привести, скажем, к отказу двигателя машины. После выявления потенциального сбоя решение для профилактического обслуживания отправляет уведомление специалистам по обслуживанию, информируя их о потенциальной деградации и рекомендуя меры по устранению последствий.

ПоТ следует использовать для автоматизации различных процессов в системе КИПиА (контрольно-измерительные приборы и автоматика). Это подразумевает использование алгоритмов машинного обучения для выявления шаблонов и оптимизации настроек, а также сокращение ручного вмешательства.

Следовательно, промышленный Интернет вещей позволяет создать производство экономичное, гибкое и более эффективное. Следующий этап оптимизации производственных процессов будет характеризоваться все более плотной конвергенцией сквозных информационных технологий.

Заключение

На основе анализа зарубежного и отечественного опыта разработки и Интернета вещей, определения роли и места промышленного Интернета вещей, а также прогноза основных направлений развития промышленного Интернета вещей можно заключить: промышленный Интернет вещей становится следующим революционным скачком развития, сравнимым с изобретением парового двигателя или индустриализацией электричества.

Список литературы

1. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: распоряжение Правительства РФ № 1632-р от 28 июля 2017 г.
2. Стратегическое направление в области цифровой трансформации государственного управления: распоряжение Правительства РФ № 2998-р от 22 октября 2021 г.
3. Атлас сквозных технологий цифровой экономики России. URL: <https://ucarecdn.com/5041fcd3-a14c-4f4d-9c91-b42a77f72d87> (дата обращения: 20.03.2023).
4. Алгиничева Т. А. Интернет вещей как ведущий драйвер цифровой трансформации // Управление и цифровизация: национальное и региональное измерение: сб. ст. II Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Брянск: Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, 2022. С. 197–200.
5. Лапшова О. А., Листошенкова О. С. Интернет вещей в условиях цифровой трансформации общества // Социально-психологические проблемы ментальности/менталитета. 2021. № 17. С. 66–72. doi:10.35785/978-5-88018-646-4-2021-17-66-72

6. Industrial Internet of Things, IIoT. URL: <https://it-enterprise.com/knowledge-base/technology-innovation/promyshlennyj-internet-veschej> (дата обращения: 20.03.2023).
7. Интернет вещей, IoT, M2M (мировой рынок). URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 20.03.2023).
8. IIoT – Industrial Internet of Things (Промышленный интернет вещей). URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 20.03.2023).
9. Boris Shiklo. IoT in Manufacturing: The Ultimate Guide. URL: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-in-manufacturing> (дата обращения: 20.03.2023).

References

1. *Natsional'naya programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii: rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 1632-r ot 28 iyulya 2017 g. = National Program "Digital Economy of the Russian Federation : Decree of the Government of the Russian Federation No. 1632-r dated July 28, 2017.* (In Russ.)
2. *Strategicheskoe napravlenie v oblasti tsifrovoy transformatsii gosudarstvennogo upravleniya: rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 2998-r ot 22 oktyabrya 2021 g. = Strategic direction in the field of digital transformation of public administration: Decree of the Government of the Russian Federation No. 2998-r dated October 22, 2021.* (In Russ.)
3. *Atlas skvoznykh tekhnologiy tsifrovoy ekonomiki Rossii = Atlas of end-to-end technologies of the digital economy of Russia.* (In Russ.). Available at: <https://ucarecdn.com/5041fcd3-a14c-4f4d-9c91-b42a77f72d87> (accessed 20.03.2023).
4. Alginicheva T.A. Internet of things as a leading driver of digital transformation // *Upravlenie i tsifrovizatsiya: natsional'noe i regional'noe izmerenie: sb. st. II Nats. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem = Management and digitalization: national and regional dimension : collection of articles II National Scientific and practical conference with international participation.* Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy universitet imeni akademika I.G. Petrovskogo, 2022:197–200. (In Russ.)
5. Lapshova O.A., Listoshenkova O.S. Internet of things in conditions of digital transformation of society. *Sotsial'no-psikhologicheskie problemy mental'nosti/mentaliteta = Socio-psychological problems of mentality/mentality.* 2021;(17):66–72. (In Russ.). doi:10.35785/978-5-88018-646-4-2021-17-66-72
6. *Industrial Internet of Things, IIoT.* Available at: <https://it-enterprise.com/knowledge-base/technology-innovation/promyshlennyj-internet-veschej> (accessed 20.03.2023).
7. *Internet veshchey, IoT, M2M (mirovoy rynek) = Internet of Things, IoT, M2M (global market).* (In Russ.). Available at: <https://www.tadviser.ru/index.php> (accessed 20.03.2023).
8. *IIoT – Industrial Internet of Things (Promyshlennyy internet veshchey).* Available at: <https://www.tadviser.ru/index.php> (accessed 20.03.2023).
9. Boris Shiklo. *IoT in Manufacturing: The Ultimate Guide.* Available at: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-in-manufacturing> (accessed 20.03.2023).

Информация об авторах / Information about the authors

Игорь Анатольевич Кубасов

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры информационных технологий,
Академия управления МВД РФ
(Россия, г. Москва, ул. Зои и Александра
Космодемьянских, 8)
E-mail: igorak@list.ru

Igor A. Kubasov

Doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the sub-department of information technologies,
Academy of management of the Ministry
of internal affairs of the Russian Federation
(8 Zoi i Aleksandra Kosmodem'yanskikh street,
Moscow, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The author declares no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 07.03.2023

Поступила после рецензирования/Revised 25.03.2023

Принята к публикации/Accepted 17.04.2023