

УДК 004.032.2 004.032.3

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Е. Мозохин^а, В.Н. Шведенко^б

^а Филиал ПАО «МРСК Центра» – «Костромаэнерго», Кострома, 156961, Российская Федерация

^б ФГБУН Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН), Москва, 125190, Российская Федерация

Адрес для переписки: vv_shved@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 12.04.19, принята к печати 15.05.19

Язык статьи — русский

Ссылка для цитирования: Мозохин А.Е., Шведенко В.Н. Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. С. 657–672. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672

Аннотация

Предмет исследования. Представлен анализ ключевых направлений развития цифровой энергетики и интеллектуальных электрических сетей на текущий момент и на перспективу ближайших 10 лет. Произведен обзор современных программно-аппаратных решений для реализации интегрированных информационных систем управления передачей и распределением электроэнергии в России и мире. Выполнен обзор международных тенденции цифровизации энергосетей и энергорынков. Проанализирован опыт внедрения интеллектуальных цифровых решений на площадках крупных электросетевых компаний. Выполнена экспертная оценка результатов внедрения интегрированных информационных систем управления на объектах Единой энергосистемы России. **Метод.** Сравнительный анализ концепций цифровизации отечественных и зарубежных электросетевых компаний позволил выделить потенциальные точки роста российской энергетики на перспективу 5–10 лет. Финансовый анализ динамики инвестиций в инфраструктуру промышленного интернета вещей на глобальном и российском рынках указывает на рост внедрения цифровых технологий не только в энергетике, но и здравоохранении, добыче полезных ископаемых, промышленном производстве и в сельском хозяйстве. Экспертная оценка результатов опытной эксплуатации проектов цифровой энергетики в разных странах мира расширяет круг технологических инноваций в электроэнергетике. **Основные результаты.** Сопоставлены экосистемы поставщиков пакетных продуктов для цифровой энергетики из разных стран мира в разрезе предлагаемых решений по направлениям: цифровые платформы, аналитические сервисы, системы геолокации, мониторинг, транспорт, телеметрия. Произведен сравнительный анализ функциональности цифровых платформ для умной энергетики крупнейших мировых и отечественных высокотехнологичных компаний. **Практическая значимость.** Структурирован опыт применения технологий цифровой трансформации для задач электросетевых компаний. Оценен уровень готовности электросетевых предприятий к реализации проектов цифровой энергетики на текущий момент и ближайшие 3 года в России. Проведенный анализ указывает на большую открытость энергетических компаний к новым технологиям промышленного интернета вещей на фоне усиления тренда цифровизации экономики страны в целом. Отмечен рост интереса к коробочным решениям и программным продуктам российской разработки.

Ключевые слова

информационная платформа, интернет энергии, интегрированная информационная система в энергетике, цифровая трансформация, интеллектуальная обработка данных

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672

DIGITIZATION DEVELOPMENT DIRECTIONS OF NATIONAL AND FOREIGN ENERGY SYSTEMS

A.E. Mozokhin^a, V.N. Shvedenko^b

^a IDGC Branch of Centre — Kostromaenergo, Kostroma, 156961, Russian Federation

^b Russian Institute of Scientific and Technical Information of the RAS, Moscow, 125190, Russian Federation

Corresponding author: vv_shved@mail.ru

Article info

Received 12.04.19, accepted 15.05.19

Article in Russian

For citation: Mozokhin A.E., Shvedenko V.N. Digitization development directions of national and foreign energy systems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 657–672 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672

Abstract

Subject of Research. The paper presents analysis of the key areas for development of digital energy and smart grids at the current moment and for the next 10 years. We perform a review of modern software and hardware solutions for the implementation of managing integrated information systems for transmission and distribution of electrical power in Russia and throughout the world. We make a survey of international trends in the digitization of power grids and energy markets. The experience of integration of intelligent digital solutions on the sites of large power grid companies is analyzed. The expert evaluation is carried out considering implementation results of integrated information management systems at the facilities of the Unified Energy System of Russia. **Method.** Comparative analysis of the digitization concepts for national and foreign power grid companies made it possible to identify potential points of growth for the Russian energy sector over the future of 5–10 years. Financial analysis of dynamics investments in the infrastructure of industrial Internet of things on the global and Russian markets points to an increase in the integration of digital technologies not only in the energy sector, but also in health care, mining, industrial production and agriculture. An expert evaluation of pilot operation results for digital energy projects in different countries of the world expands the range of technological innovations in the power industry. **Main Results.** The ecosystems from suppliers of packet products for digital energy from different countries of the world are compared in the context of the proposed solutions in the areas of digital platforms, analytical services, geolocation systems, transport monitoring, and telemetry. Comparative functionality analysis of digital platforms for smart energy of the largest world and national high-tech companies is made. **Practical Relevance.** The experience of applying digital transformation technologies for the tasks of power grid companies is structured. The readiness level of power grid enterprises is evaluated for the implementation of digital energy projects in Russia currently and for the next 3 years. The performed analysis points to a greater openness of energy companies to new technologies of the industrial Internet of things against the background of national economy digitization up trend. The growth of interest in packaged solutions and Russian-designed software products is noted.

Keywords

information platform, Internet of energy, integrated information system in energy sector, digital transformation, intelligent data processing

Введение

В электросетевом комплексе накопилось немало проблем, связанных с постоянно растущими требованиями к качеству электроснабжения, его надежности, доступности электросетевой инфраструктуры для новых потребителей. Вызовы электросетевого комплекса должны быть учтены и проработаны при формировании стратегии технологического и инновационного развития отрасли в ближайшее время, как необходимое условие цифровой трансформации отрасли.

Согласно указу президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», электроэнергетической отрасли как одной из основополагающих систем жизнеобеспечения государства требуется совершить научно-технический и социально-экономический прорыв.¹

К первоочередным вызовам электросетевого комплекса относятся:

- требование новых сервисов потребителями;
- потери электроэнергии в сетях;
- тарифные ограничения;
- рост требований к качеству и надежности электроснабжения;
- износ основного оборудования;
- утечка кадров и недостаток высококвалифицированных кадров;
- абонентские сети (ТСО — территориальная сетевая организация);
- накопленные обязательства по технологическому присоединению и т. д.

Стратегия развития электросетевых компаний России на данный момент состоит в комплексной модернизации электросетевой инфраструктуры с применением современного электротехнического оборудования и цифровых технологий. Ключевые показатели деятельности компаний электросетевого комплекса в период системных изменений можно изобразить в виде следующей диаграммы, представленной на рис. 1.

Как можно видеть из рис. 1, надежное и качественное электроснабжение потребителей не должно отрицательно сказываться на клиентоориентированности компании, а крупные операционные и капитальные затраты, которых не избежать при широкой автоматизации и цифровизации отрасли, должны только улучшить инвестиционную эффективность компаний.

Традиционно электросетевые компании уделяют большое внимание элементной надежности сети путем проведения ремонтных программ и противоаварийных мероприятий в течение всего года. Однако оптимальное соотношение затрат при модернизации отрасли должно быть связано с повышением не только элементной, но и системной надежности за счет совокупности элементов и умной системы управления.

¹ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации до 2024 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473> (дата обращения: 25.05.2019).



Рис. 1. Ключевые показатели деятельности компаний электросетевого комплекса [1]

Согласно программе Министерства энергетики России «Цифровая трансформация электроэнергетики России», цифровая трансформация — есть внедрение на базе цифровых технологий риск-ориентированной модели управления в электроэнергетике для минимизации совокупной стоимости владения с целью снижения себестоимости киловатт-час при заданном уровне надежности и приемлемом уровне тарифной нагрузки¹.

Направления развития цифровизации электросетевой отрасли

В отличие от автоматизации технологического процесса распределения и транспорта электроэнергии, которая сама по себе не способна снизить стоимость владения активами компании, цифровизация позволяет достигнуть этой цели за счет создания и внедрения единой доверенной цифровой среды. Ключевой проблемой автоматизации в электросетевом комплексе нужно считать сложность интеграции информационных систем разных производителей и невозможность существенных изменений в уже работающей схеме автоматизации [2, 3].

Цель цифровой трансформации в экономике в целом и в энергетике в частности состоит в разработке единого информационного пространства как среды и общего языка взаимодействия для различных платформ и технологий [4]. Подобный подход позволяет:

- организовать сквозную передачу первичных оцифрованных технологических данных в объемах, требуемых к предоставлению субъектами электроэнергетики;
- снизить административные обязательства субъектов электроэнергетики при оценке готовности к осенне-зимнему периоду;
- создать цифровую информационную платформу как единую доверенную среду, которая будет использоваться в деятельности субъектами электроэнергетики;
- перейти на закупку производственных фондов для нужд электроэнергетики, исходя из стоимости жизненного цикла;
- создать возможность использования статистики, накопленной на единой отраслевой доверенной платформе, в научных целях;
- внедрить риск-ориентированные подходы управления энергосистемами России;
- повысить уровень надежности при минимальных затратах на техническое обслуживание и ремонты сетевой инфраструктуры за счет создания федерального центра мониторинга надежности;
- разработать систему консолидации отраслевых заказов для стимулирования машиностроения и микроэлектронной промышленности России.

Цифровизация электросетевого комплекса предполагает, во-первых, повышение наблюдаемости, управляемости, автоматизации и диагностики на объектах сетевого хозяйства регионов (речь идет об цифровых подстанциях и активно-адаптивной распределительной сети). Во-вторых, развитие информационно-телекоммуникационной инфраструктуры для технологической и корпоративной сети передачи данных, включая вопросы кибербезопасности, разработки интегрированных информационно-управляющих систем. В-третьих, цифровизация бизнес-процессов компании, развитие инновационной и инжиниринговой деятельности. В-четвертых, развитие человеческого капитала, строительство полигонов и сетевых лабораторий для формирования новых профессиональных компетенций у персонала компании. Концепция цифровизации электросетевой компании представлена на рис. 2.

¹ Цифровая трансформация электроэнергетики России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://digitenergy.ru/wp-content/themes/energy/img/materials-2018/2/5.pdf> (дата обращения: 25.05.2019).

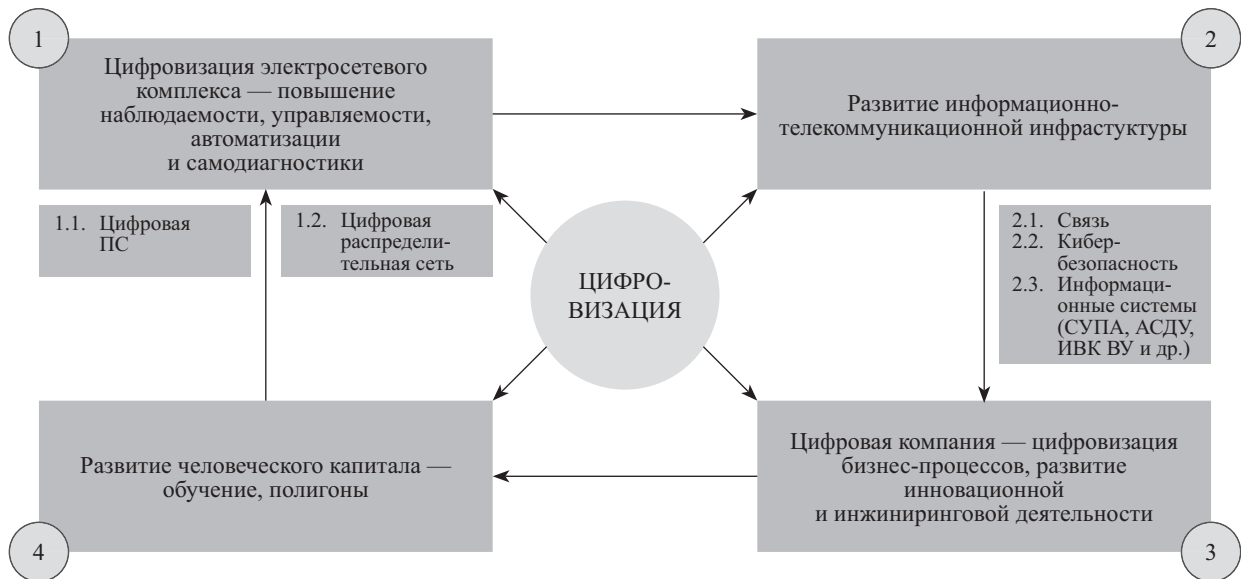


Рис. 2. Концепция цифровизации электросетевой компании [1] (ПС — электрическая подстанция, СУПА — система управления производственными активами предприятия, АСДУ — автоматизированная система диспетчерского управления, ИВК ВУ — информационно-вычислительный комплекс верхнего уровня)

Международные тенденции цифровизации энергосетей и энергорынков

Идея повсеместной цифровизации состоит в создании нового образца энергосети и энергорынка будущего, отвечающего перспективным вызовам. В экосистеме цифровой энергетики производители и потребители энергии беспрепятственно интегрируются в общую инфраструктуру как техническую, так и информационную, обмениваются энергией и информацией. Архитектура цифровой энергетики формируется на следующих мировых трендах [5–8]:

- создание цифровых информационных платформ и решений в области энергоэффективности для удовлетворения запросов современных и будущих потребителей;
- сокращение издержек на содержание и управление посредством цифрового мониторинга и предиктивной аналитики;
- наращивание эффективности производства, распределения и сохранения энергии;
- использование широкого спектра внешних данных вместе с данными энергопотребления для повышения энергоэффективности;
- оптимизация системы (например, увеличение эффективной емкости сетей за счет лучшего управления потоком мощности).

На рынке энергоэффективных решений для потребителя электроэнергии большой популярностью пользуются системы домашнего энергоуправления, интеллектуальные измерительные счетчики и датчики, мобильные сервисы энергопотребителя. Рынок интеллектуальных приборов учета (smart metering) сейчас бурно развивается в России и странах Восточной Европы, Средней Азии и Латинской Америке¹. На сегодняшний день в этих странах широко распространяются технологии, дающие потребителям возможность стать активными субъектами энергетического рынка. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), микрогенерация, накопители энергии (ИНЭ), средства регулирования нагрузки, смарт-контакты создают новые возможности и современные модели поведения потребителей. Чтобы воспользоваться преимуществами современных технологий, необходимо трансформировать правила и механизмы функционирования энергетических рынков [9].

Внедрение технологии smart grid (умные сети) способствует снижению стоимости электроэнергии и формированию резервной мощности у конечных потребителей. Совершенствование технологии умных сетей, умных городов и поселков нацелено на повышение надежности и безопасности электроснабжения, рост автоматизации технологических процессов на производстве, внедрение цифровых устройств в быту, сокращение затрат на ремонты и эксплуатацию. Спрос на цифровые технологии среди российских энергокомпаний связан с необходимостью существенного обновления основных фондов в отечественной энергетике. На рис. 3 представлен план мероприятий («дорожная карта») Национальной технологической инициативы

¹ Цифровая трансформация в электроэнергетике. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://komanda-a.pro/blog/digital_electro.html (дата обращения 25.05.2019).

«Энерджинет»¹, выполнение которого является важным звеном при воплощении в жизнь «Энергетической стратегии России на период до 2030 года»².



Рис. 3. Проектные направления стратегии «Энерджинет» (РЭС — район электрических сетей, IoT (Internet of Things — интернет вещей))

В ближайшей перспективе цифровые технологии способствуют обновлению не только традиционных электроэнергетических рынков, но и подготовят почву для зарождения новых. Среди перспективных для российской энергетики технологий на данном этапе развития стоит отметить: дистанционное управление объектами электросетевой инфраструктуры, управление качеством электроэнергии, интеллектуальные системы коммерческого учета, экспертные системы выбора силового электрооборудования [10].

Каждое из вышеперечисленных перспективных направлений способствует развитию энергоэффективности и энергосбережения. Выделяют 14 тематических областей научных исследований, обладающих наибольшим потенциалом для России (рис. 4).



Рис. 4. Потенциальные точки роста энергетики России в рамках стратегии «Энерджинет»

¹ План мероприятий («дорожная карта») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nti.one/docs/DK_energynet.pdf (дата обращения 25.05.2019).

² Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения 25.05.2019).

Интеллектуальные энергетические системы будущего должны способствовать росту управляемости, надежности и энергоэффективности всех известных энергетических систем: электрических, газовых, тепловых. «Энерджинет» позволит создать принципиально новую архитектуру электросетей, базирующуюся на активно-адаптивных принципах, которая будет формироваться на основе запросов потребителя, а не навязываться поставщиками или властями [11].

В следующие 5–10 лет потребители как из B2B так и из B2C сместят свой фокус в сторону комплексных решений в области электроэнергетики, распределения, управления и мониторинга. Будут востребованы гибкие многофункциональные решения с элементами программного управления и анализом больших данных [12].

Эксперты прогнозируют более глубокое распространение беспроводных протоколов в продукции электротехнических компаний. В 2017–2018 гг. в нескольких городах России были запущены в тестовую эксплуатацию сети IoT, которые могут оказать дополнительное влияние на распространение технологии цифровой энергетики. Телеком видит в этом новые возможности в рамках решения проблемы мониторинга и управления распределением энергии промышленных объектов, частной и коммерческой недвижимости [13].

К основным технологическим решениям по развитию цифровой экосистемы электросетевых компаний относят (рис. 5) [14–16]:

- IoT-протоколы интеграции электротехнических продуктов компании;
- хранилище данных (data storage);
- облачный сервис управления интеллектуальными устройствами (cloud services);
- системы искусственного интеллекта AI (от англ. Artificial Intelligence) для автоматического управления типовыми операциями, обработки больших объемов данных и предиктивного анализа;
- системы на базе нейросетей, анализирующие типовые тестовые сценарии и прототипы;
- клиентские кабинеты и мобильные приложения APPs (от англ. Applications);
- интеграционные инструменты – открытый API (от англ. Application Programming Interface);
- система распределения прав на базе блокчейн.

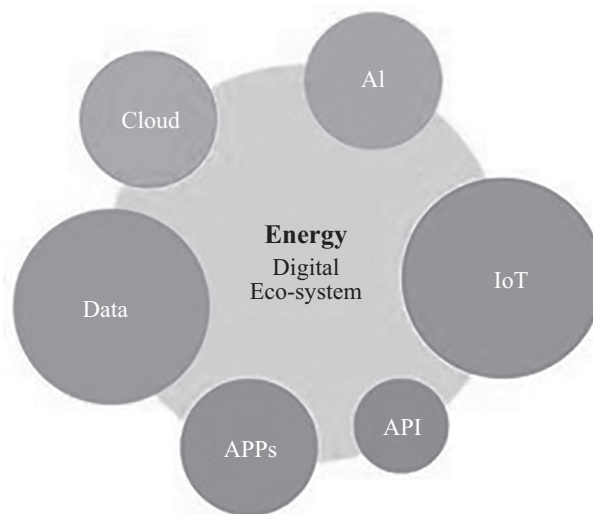


Рис. 5. Основные технологические решения в рамках цифровой энергетической экосистемы

Развитие цифровой экосистемы в России до 2022 г. представлено на рис. 6 [17–19].

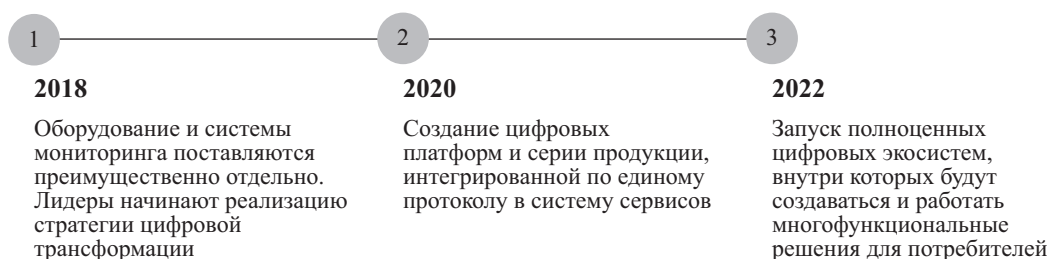


Рис. 6. Развитие цифровой экосистемы в России до 2022 года

Продвижение цифровых технологий в отечественной и мировой энергетике

Сегодня энергетические компании разных стран переживают процессы цифровой трансформации. Необходимым условием является внедрение в производство единого информационного пространства, в рамках которого системы управления предприятием и промышленное оборудование могут своевременно обмениваться данными в цифровой форме. По оценкам экспертов Московской школы управления «Сколково» [20], проекты в области цифровизации производства уже сегодня обходятся в 10–100 раз дешевле, чем 5–10 лет назад. Наблюдается экспоненциальное падение стоимости средств производства с цифровой составляющей. Благодаря формирующейся экосистеме к платформе IoT смогут подключаться любые предприятия-партнеры, готовые предоставить свои мощности для выполнения заказа, а также заказчики, которые в режиме реального времени смогут выбирать, где и в каком объеме заказать товар.

Ведущие компании уже занимаются разработкой новых моделей и продуктов на базе цифровых систем. Комплексные решения по цифровизации объектов электросетевого хозяйства разрабатывают такие компании, как Schneider Electric, ABB, Siemens, Legrand, Microsoft, Oracle, Cisco, IBM, SAP. Анализируя пул проектных решений данных компаний, сразу выделяются те решения, что пользуются популярностью у крупных заказчиков: промышленный интернет вещей (IIoT), облачные вычисления (cloud computing), мониторинг сети передачи данных, управление производительностью ИТ-инфраструктуры (network health monitoring), анализ больших данных (big data), бизнес аналитика (business intelligence — BI), искусственный интеллект (artificial intelligence — AI), магазин приложений (application store — APPs). При этом большинство реализованных проектов с 2016 г. по текущее время приходится на IIoT, так как без своевременной, актуальной и достоверной информации невозможна цифровизация в компании.

Популярность концепции промышленного интернета вещей состоит в повышении эффективности промышленных и технологических процессов при общем сокращении капитальных затрат. IIoT позволяет электросетевым компаниям сокращать недоотпуск энергии в сеть, снижать затраты на техническое обслуживание и ремонты, а также совершенствовать методы прогнозирования технологических нарушений в работе оборудования [21, 22].

Под влиянием IIoT трансформируются в том числе все экономические модели построения взаимодействия «поставщик-потребитель». Как результат — формирование эффективных способов взаимодействия предприятий-поставщиков с конечными потребителями, создание моделей совместного использования. Функции управления и принятия решений переходят от человека к интеллектуальным системам, что приводит к формированию четвертого технологического уклада в производстве — «киберфизические системы». Интеграция операционных и информационных технологий позволит перейти к новым бизнес- и сервисным моделям — таким как «цифровые двойники» (digital twins), «ремонт по состоянию» и «оборудование как сервис» [23, 24]. Параллельно формируется спрос на комплексные решения — на основе IIoT, предиктивной аналитики, облачных вычислений [25, 26].

По данным Global Market Insights¹, мировой рынок IIoT (включая оборудование, сенсоры, датчики, роботизированные системы, платформы, программные продукты и услуги) в 2017 г. достиг 312,79 млрд долл., что в три раза больше, чем в 2015 г. (рис. 7). В период с 2017 по 2023 г. будет расти со среднегодовыми темпами CAGR (от англ. Compound Annual Growth Rate) в 14,36 %. К 2023 г. его объем составит 700,38 млрд долл.

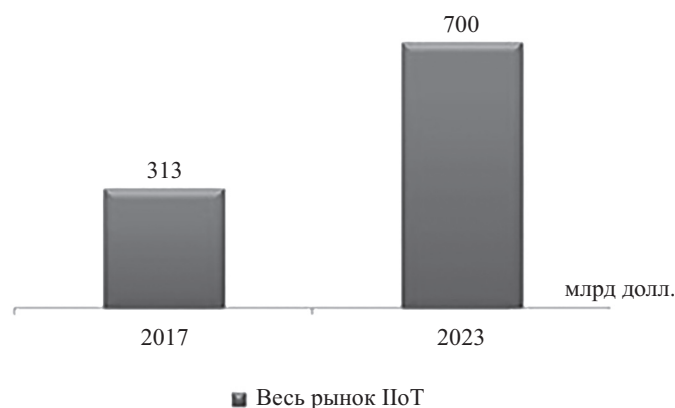


Рис. 7. Динамика инвестирования в IIoT на глобальном рынке (млрд долл.)

Российский рынок IIoT — это роботизированные системы, датчики, цифровые платформы, инфраструктура и сети. По оценкам экспертного сообщества рынок IIoT составил в 2017 г. 93 млрд руб. и по

¹ IoT Infrastructure Market Size By Platform , By Technology, By Component etc. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gminsights.com/toc/detail/iot-infrastructure-market> (дата обращения: 25.05.2019).

прогнозам вырастет до 270 млрд к 2020 г. (рис. 8) [27, 28]. Активизация рынка IoT будет в значительной степени определяться поддержкой государства. Задел здесь уже обозначен – в 2017 г. на правительственном уровне утвержден план мероприятий «Технет»¹ (в рамках проекта национальная технологическая инициатива – НТИ), посвященная внедрению ИТ-систем для управления промышленным производством при создании «фабрик будущего» и Программа «Цифровая экономика РФ», которая предполагает развитие промышленной сенсорики и индустриального интернета. Сдерживать развитие этого направления пока продолжает устаревание производственных активов, отсутствие стандартов и неактуальность нормативных требований. Кроме того, бизнесу сложно инвестировать в долгосрочные высокотехнологичные проекты ввиду сохраняющихся бюджетных ограничений.

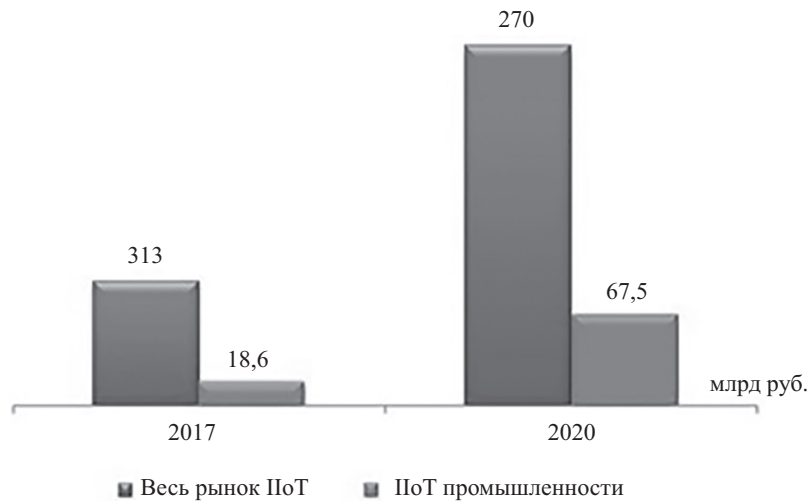


Рис. 8. Динамика инвестирования в IoT на российском рынке (млрд руб.)

Наибольшую динамику внедрения IoT-решений аналитики ожидают в энергетике, здравоохранении, добыче полезных ископаемых, промышленном производстве и в сельском хозяйстве. Еще один тренд, связанный с развитием экосистем промышленного интернета вещей, — это растущее вовлечение лицензиаров и производителей индустриального оборудования в разработку специализированных приложений на базе существующей IoT-инфраструктуры, которые могут впоследствии публиковаться в Application Store/APPs. Такие приложения повысят мобильность и производительность труда персонала предприятия, а также будут способствовать решению узкоспециализированных задач повышения эффективности [29].

Практический опыт использования интернета вещей поможет энергетическим компаниям предотвращать технологические нарушения и повышать безопасность сотрудников. Подобный результат связан с формированием единого информационного пространства, объединяющего данные со всех первичных датчиков, с целью интеллектуальной обработки текущей ситуации в режиме реального времени. Анализ мировых практик внедрения IoT показывает, что основными сферами применения решений являются производство, характеризующиеся наличием одного либо нескольких следующих условий [30]:

- выпуск нескольких видов продукции при использовании большого перечня комплектующих;
- необходимость добиться увеличения качества выпускаемой продукции;
- развитие эффективного сервисного обслуживания по ранее поставленной продукции;
- потребность в снижении эксплуатационных затрат производства;
- высокая энергоёмкость производства;
- тяжелые производственные условия;
- потребность в оперативной диагностике неисправностей оборудования для уменьшения простоя на производстве;
- обеспечение высокой производительности персонала;
- обеспечение безопасности персонала;
- потребность в интеграции технических и программных средств производства.

На российском рынке к настоящему моменту заметны три основных направления для применения IoT [31].

1. Управление производством — для удаленного анализа состояния производственного оборудования, осуществления контроля и управления производственными операциями, проведения диагностики для предотвращения неполадок.

¹ План мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://asi.ru/upload/iblock/4b2/DK_TechNet.pdf (дата обращения: 25.05.2019).

2. Мониторинг транспорта — для осуществления мониторинга местоположения транспортных средств, маршрутов, правил перевозки грузов в режиме online при помощи беспроводных, спутниковых каналов связи, а также технологии радиочастотной идентификации RFID (от англ. Radio Frequency IDentification), GPS, GPRS и географической информационной системы (ГИС).

3. Интеллектуальные энергосистемы — для роста эффективности, безопасности и надежности энергоснабжения. Данные технологии основаны на принципах активного децентрализованного взаимодействия между узлами сети в режиме online.

Популярными цифровыми устройствами, используемыми на российских промышленных предприятиях, становятся системы автоматического сбора и передачи данных, что является предпосылкой для перехода к IIoT. Важно учесть аналитические возможности технологий IIoT, состоящие в анализе собранных данных и выводе рекомендаций по оптимизации производства.

Внедрение технологий цифровой трансформации

Внедрение цифровых решений в электросетевом комплексе требует изменения подходов к разработке и продвижению автоматизированных систем управления. На смену устаревшим производственным мощностям приходят новые, автоматизированные и роботизированные производства. Помимо этого, переход к цифровой экосистеме подразумевает трансформацию объектов компании из изолированных систем, внутри которых реализованы все необходимые бизнес-процессы, в открытые кросс-индустриальные системы по модели облачных сервисов.

Миграция в облако и построение экосистемы [32]. Успешность проекта в рамках цифровой трансформации напрямую связана с успешной организацией цифровой экосистемы, которая бы охватила не только модернизацию существующих процессов, но, развертывание новых систем управления, подготовку и обучение квалифицированных кадров, активную работу с разработчиками.

Данный подход требует, чтобы вся необходимая информация о текущем состоянии ресурсов, таких как оборудование, сырье и материалы, электроэнергия, транспортные средства, производство, маркетинг, продажи, была доступна внутри каждого подразделения компании, на каждом уровне управления. Эту связь обеспечивает подключение к облачной платформе любых устройств и систем, она реализуется за счет использования механизма открытых прикладных интерфейсов (API).

Управление данными и внедрение искусственного интеллекта [33]. Эффективная стратегия цифровизации в первую очередь строится на объединении данных с множества разрозненных систем в облачном хранилище с применением аналитических вычислений и прогнозов. Далее следует разработка интегрированных приложений для обработки и отображения технологической информации. Приложения рассматриваются, как сервисы и могут располагаться в облаке, что открывает доступ к дополнительным данным, поступающим с нескольких производственных участков или отдельных производств. После консолидации данных из разных источников компании смогут применять интеллектуальную аналитику для извлечения значимой информации. Благодаря широкому набору данных компании смогут разрабатывать и использовать в облаке все более совершенные аналитические модели.

Сравнительный анализ поставщиков цифровых решений для энергетики на мировом и российском рынках

К лидерам мирового рынка, предлагающим пакетные решения по цифровой трансформации для энергетики, в том числе для электросетевых организаций, относятся такие компании как AT&T, Cisco, Schneider Electric, General Electric, IBM, Intel, Qualcomm, Atos, Microsoft, SAP, Siemens, Honeywell, Alstom Grid. Все они вносят заметный вклад в развитие и изучение рынка цифровой энергетики.

General Electric предоставляет интегрированные решения для диагностики здоровья и удаленного мониторинга состояния здоровья оперативного персонала с использованием сенсоров и беспроводных технологий. Свои платформы под цифровую энергетику активно внедряют крупные корпорации — немецкая промгруппа Bosch, шведский Ericsson, японская компания Mitsubishi Electric и др. Заметным игроком на рынке цифровой энергетики стал немецкий концерн Siemens. Один из продуктов компании — облачная платформа MindSphere. Эта операционная система связывает различные объекты: промышленными установками, инфраструктурой, устройствами и пр., позволяя создавать цифровые сервисы и новые бизнес-модели.

В число основных поставщиков IIoT-платформ входит американский разработчик программного обеспечения PTC, Inc (Parametric Technology Corporation). Его продукт — платформа ThingWorx¹ — включает технологии быстрой разработки приложений IIoT, а также проектов дополненной реальности (AR). Партнеры, сотрудничающие с теми или иными заводами, создают на базе ThingWorx свой набор фокусных сервисов для широкого круга клиентов. Например, оптимизация энергопотребления важна и для сети быстрого питания, и

¹ ThingWorx обеспечивает промышленные инновации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ptc.com/ru/products/iiot.html> (дата обращения: 25.05.2019).

для порта, и для промышленного предприятия. ThingWorx используется для быстрой адаптации к каждому конкретному проекту внедрения в плане модели данных, связи с устройствами, пользовательского интерфейса.

Над созданием недорогих цифровых сервисов для цифровой энергетики на основе LPWA (англ. Low-Power and Wide-Area — энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия) работает японская телекоммуникационная корпорация SoftBank. В 2017 г. SoftBank запустила сеть LoRaWAN. Японская компания Hitachi объявила о создании своего IoT-подразделения (Hitachi Insight Group). Подобные решения уже приносит компании до 6 % выручки за счет проектов в сфере общественной безопасности, умного города, энергетики, транспортной промышленности, сельском хозяйстве и разработке месторождений. На этом рынке Hitachi сотрудничает с компанией SAP (нем. Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung), PTC, AT&T, Ericsson, Eurotech, Intel, Microsoft и др. Совместно с Vodafone Hitachi разработали систему профилактического технического обслуживания поездов, которая собирает данные от многочисленных датчиков [34].

В России присутствуют не только международные вендоры, но и довольно много локальных производителей. Например, устройства дистанционного мониторинга транспорта – Omnicomm, АвтоГРАФ, ГалилеоСкай, Форт, Naviset, Инкотекс, Штрих-ТахоRUS, Гранит Навигатор, M2M Cyber и др. На рынке также много программных продуктов, позволяющих анализировать получаемые данные и оптимизировать затраты и процессы. В 2017 г. Mail.Ru Group представила распределенную программную платформу Tarantool IoT¹, разработанную для промышленного интернета вещей. Эта платформа позволяет собирать данные с миллионов датчиков, расположенных на производственных площадках, транспорте, сельскохозяйственных полях и пересылать их в дата-центры для онлайн-анализа.

Базу под проекты IoT в России подготавливают, со своей стороны, телеком-компании. Так, «Мобильные ТелеСистемы» (МТС) в конце 2017 г. открыли первую постоянно действующую в России лабораторию интернета вещей, совместно с Nokia. На площадке представлены пилотные решения, а также можно познакомиться с коммерческими IoT-сервисами и совместно создавать новые. С 2015 г. индустриальный интернет стал одним из стратегических направлений развития компании «Ростелеком». Платформа Restream IoT, разработанная «Ростелеком», является транспортной платформой с гарантированным SLA и предоставляется клиентам по модели PaaS (платформа как сервис — Platform as a Service). По данным «Ростелеком», разработки в области промышленного интернета занимают 60 % российского рынка IoT [35].

Рассмотренные облачные цифровые платформы поддерживают все возможные варианты предоставления услуг, начиная с IaaS — инфраструктура как услуга, PaaS — платформа как услуга, и заканчивая SaaS — сервис как услуга. Потенциальный заказчик может рассчитывать как на выполнение проекта под ключ, так и использование платформы и ресурсных мощностей для написания собственных сервисов и реализации проектов своими силами. Варианты сервисов типовой облачной платформы изображены на рис. 9.

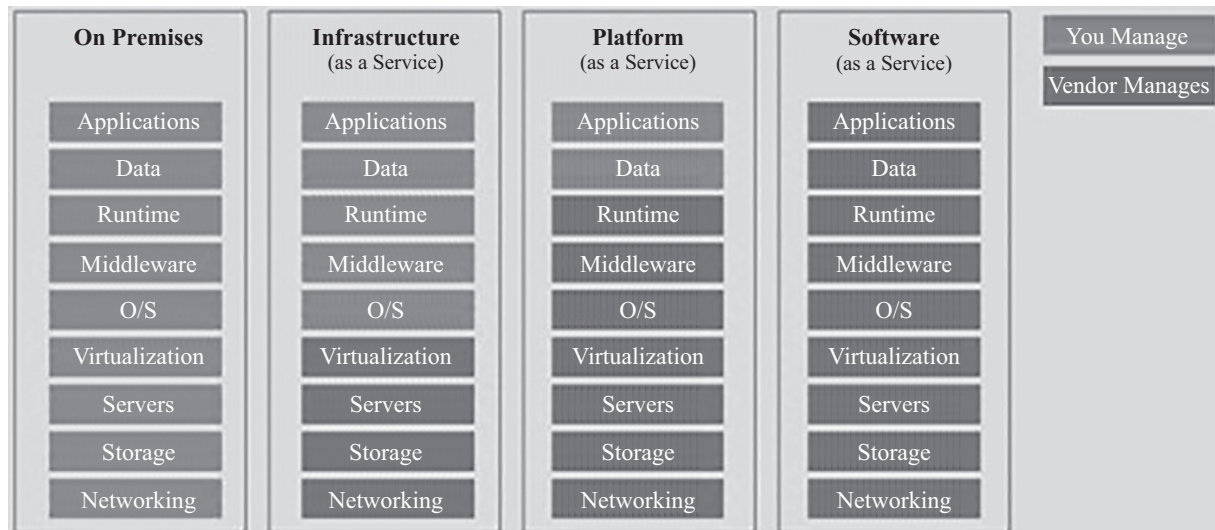


Рис. 9. Варианты сервисов типовой облачной платформы IoT²

Информационная защищенность, техническая поддержка, центры обучения по подготовке разработчиков также имеются у каждого производителя цифровых платформ для умной энергетики. Подобное

¹ Решения для бизнеса: платформа Tarantool IoT. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://corp.mail.ru/company/business/> (дата обращения: 25.05.2019).

² Azure IoT Platform для Интернета вещей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/overview/iot.html> (дата обращения: 25.05.2019).

разнообразие цифровых решений, функционального наполнения и гибкая архитектура трансформаций стало возможным благодаря переходу от традиционной модели обработки данных к облачной. Как видно из рис. 10, эксплуатация подобных систем не требует большого количества персонала, и позволяет управлять ресурсами значительно эффективней за счет автоматизации технологического процесса на всех этапах жизненного цикла центра обработки данных.

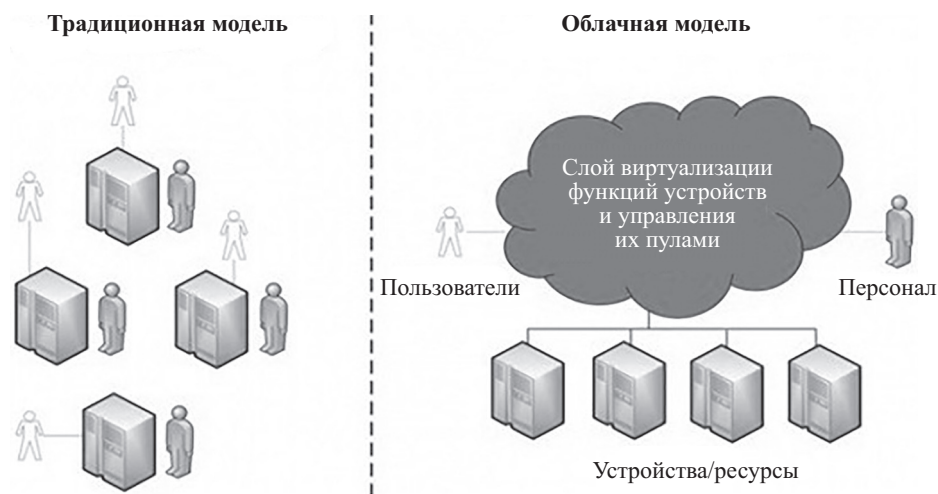


Рис. 10. Традиционная и облачная модель предоставления сервисов

В табл. 1 и 2 представлены основные игроки на международном и российском рынке цифровых технологий, а также сравнительный анализ цифровых платформ для умной энергетики [36, 37].

Таблица 1. Сопоставление экосистем поставщиков решений для цифровой энергетики

Направление бизнеса	Российские компании	Международные компании	Задачи
Системная интеграция ИТ-разработка (сервисы) Цифровые платформы Аналитические сервисы	Мобильные ТелеСистемы (МТС), Ростелеком, КРОК, Сибинтек, Ай-Теко, Петер Сервис, Revolta Engineering, 1С, СТИ, Цифра, Станкосервис, Остек-Инжиниринг, Инфотех Групп, Комнэт, Коннеktivити, Стриж, Mail.Ru Group	Schneider Electric, GE Energy, IBM, Atos, ThingWorx, Alstom Grid, Efacec ACS, Oracle, OpenSystems International (OSI), Intergraph, Google	<ul style="list-style-type: none"> — Разработка новых решений на платформе IoT; — разработка платформ (в том числе облачных) для хранения данных; — разработка ПО для систем управления; — внедрение и интеграция с существующей инфраструктурой технологий IoT.
Системы сбора и передачи данных Телеметрия Мониторинг транспорта Геолокация	ТранспортТВ, StarLine, Яндекс, Телематика, Omnicomm, АвтоГРАФ, Межотраслевой центр мониторинга, НИС ГЛОНАСС, Совзонд, GeliosSoft, Смартико, Вавиот, Аура360, T-One Group, ГалилеоСкай, Форт Naviset, «Инкотекс», «Штрих-ТахоRUS», «Гранит Навигатор», M2M Cyber	General Electric, Qualcomm, SAP, PTC, AT&T, Ericsson, Eurotech, Intel, Microsoft, Oracle, IBM, Google	<ul style="list-style-type: none"> — Производство беспилотного транспорта; — организация систем безопасности; — развертывание умной транспортной инфраструктуры; — системы геолокации и мониторинга.
Электроника	Микрон, Ангстрем, Т8, Т-Платформы, Пауер Синтез, Позитрон	Hitachi, Bosch, Siemens, Honeywell, ZTE, Huawei, ZEBRA TECHNOLOGIES	<ul style="list-style-type: none"> — Построение платформенных аппаратных решений, сетей и инфраструктуры для IoT; — поставка микроэлектронных компонентов и датчиков, компьютеров, сетевого и телекоммуникационного оборудования.
Связь	МТС, МегаФон, Вымпелком, Теле2, МТТ, ЭР-Телеком, Центр 2М, Лартех Телеком	Vodafone, PTC, AT&T, Ericsson, Eurotech	<ul style="list-style-type: none"> — Развитие услуг M2M.

Таблица 2. Сравнительный анализ цифровых платформ для умной энергетики

Критерии сравнения	SIEMENS Платформа MindSphere	Microsoft Платформа Azure IoT Suite	PTC Платформа ThingWorx	Mail.ru Group Платформа Tarantool
Назначение цифровых платформ	Открытая облачная операционная система для интернета вещей (IoT), которая позволяет связать оборудование и физическую инфраструктуру в единое пространство	Открытая облачная платформа для создания полностью настраиваемых решений для распространенных сценариев интернета вещей (IoT)	Открытая платформа для создания промышленных инноваций, предназначенная для быстрого выпуска приложений промышленного интернета вещей (IIoT) и сред дополненной реальности (AR)	Открытая, распределенная программная платформа, разработанная для промышленного интернета вещей IIoT
Стандартные интерфейсы и открытые протоколы передачи данных (OPC UA, API и т. д.)	Есть	Есть	Есть	Есть
Промышленные приложения и цифровые сервисы	»	»	»	»
Центр разработки приложений	»	»	»	»
Облачная инфраструктура:				
— платформа как услуга PaaS	»	»	»	»
— сервис как услуга SaaS	»	»	»	»
— инфраструктура как услуга IaaS	»	»	»	»
Техническая поддержка 24/7	»	»	»	»
Многопрофильная модель бизнеса	»	»	»	»
Информационная защита предприятия	»	»	»	»
Центры обучения для пользователей и разработчиков	»	»	»	»

Уровень проникновения технологий цифровой трансформации на электросетевых предприятиях

Возможность применения технологий цифровой трансформации для задач электросетевых компаний обсуждается давно, однако реальных примеров применения технологий до последнего времени было немного даже в мировой практике. В настоящий момент проникновение цифровых технологий быстро растет. По данным опроса [34], проведенного в 1 кв. 2018 г., около 60 % респондентов, представляющих разные сферы энергетики (генерация, транспорт и распределение), подтверждают использование или пилотирование проектов цифровой трансформации.

Так, 75 % опрошенных предприятий выделяют на данный момент приоритет задач обеспечения безопасности, 70 % — мониторинга и диагностики состояния оборудования. Перечень задач решаемых электросетевыми компаниями в рамках цифровой трансформации, представлен на рис. 11.

Уровень готовности электросетевых предприятий к реализации проектов цифровой энергетики можно оценить, как начальный. Датчиками промышленного интернета охвачено менее трети оборудования у более 60 % опрошенных. В то же время планы по увеличению этой доли в ближайшие 1–2 года обозначали около трети респондентов.

Доминирующий подход к реализации проектов цифровой трансформации в электросетях — это участие смешанных команд, внешних подрядчиков и собственных специалистов (более 80 % респондентов).

Такая ситуация обусловлена тем, что до настоящего момента лишь присутствие разработчиков внутри команды заказчика позволяет продвинуться и запустить такие инициативы. Большинство компаний по этой же причине ориентированы и на выращивание внутренней экспертизы по направлению цифровой энергетики, рассчитывая таким образом минимизировать в будущем зависимость от разработчиков. В то же время на данный момент такая экспертиза только формируется (49 % предприятий), а почти четверть опрошенных отмечают, что в принципе ею пока не владеют (рис. 12).

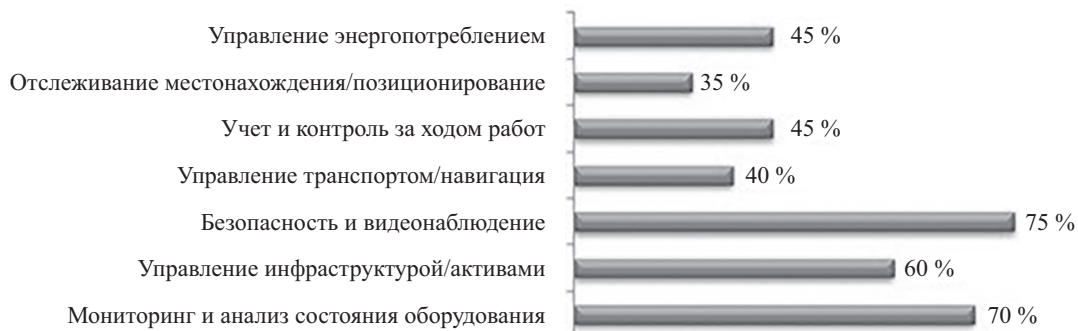


Рис. 11. Перечень задач, решаемых электросетевыми компаниями в рамках цифровой трансформации

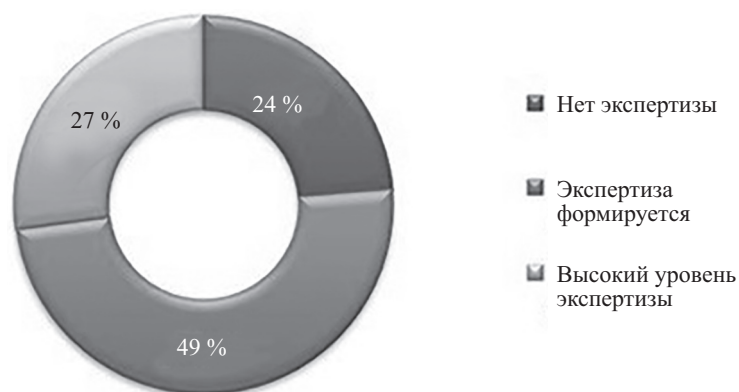


Рис. 12. Оценка уровня собственной экспертизы по вопросам цифровизации в электросетевых и промышленных компаниях

Помимо незрелости заказчиков, опрошенные компании отмечают и невысокий уровень зрелости решений для цифровой энергетики, предлагаемых для энергетиков в России. Общий уровень незрелости рынка подтверждает и отсутствие нормативной базы, единых требований и стандартов, отмечают респонденты. На сегодня появляется все больше компаний, торгующих фактически комплекующие, но не имеющие конкретного набора решений, уже прошедших апробацию в ходе ряда внедрений. Многие провайдеры ориентированы таким образом, чтобы привлечь инвестиции для разработки готовых продуктов. Отсутствие достаточного количества промышленных решений смущает заказчиков, которые в свою очередь тормозят инвестиции в цифровую энергетику.

Большинство опрошенных предприятий затрудняются в силу недостаточной проработки инициативы цифровой энергетики на стратегическом уровне, в определении наиболее перспективных решений с заделом на будущее. Отмечается, что сегодня не хватает телеметрических решений, а также решений для массового объемного контроля ресурсов — например, электричества или тепла. Главное, что выделяют опрошенные игроки — это потребность в полностью автоматизированной цепочке и единой платформе, интегрирующей все решения и элементы ИТ в единую систему компании. В этом случае предполагается более очевидный совокупный экономический эффект в результате реализации проекта, который проще будет обосновать, как инвестиционный и привлекательный.

Заключение

Проведенный анализ направлений развития цифровой трансформации по всему миру позволил выделить глобальные тренды цифровизации, присущие современным энергосистемам развитых и развивающихся стран. Вызовы нового технологического уклада, стоящие перед Единой энергосистемой России, с каждым годом видоизменяются, что требует от энергетических компаний перехода к более сложным формам организации цифрового управления процессами генерации, транспорта и распределения электроэнергии.

Подводя итог проведенному исследованию, следует отметить следующие моменты, требующие первоочередного внимания и принятия контрмер со стороны компаний, вовлеченных в цифровую трансформацию энергосистемы России:

— российский рынок цифровой энергетики находится на начальной стадии развития. Его характеризует недостаточно высокий уровень осведомленности бизнес-заказчиков о технологиях, которым также не хватает понимания, как обеспечить экономический эффект от их внедрения;

— невысокий уровень проникновения решений цифровой энергетики обусловлен, в том числе значительной стоимостью и длительностью таких инициатив при высокой их ресурсозатратности для заказчика;

— по мере наращивания базы проектов и повышения зрелости решений ожидается ускорение внедрения цифровых технологий в энергетике и управлении процессами транспорта и распределения электроэнергии. В России уже сформирована необходимая инфраструктура, накоплена достаточная база для обработки и хранения больших данных, используются технологии межмашинного взаимодействия, а на базе ГЛОНАСС могут развиваться геоинформационные бизнес-сервисы;

— энергетические компании демонстрируют большую открытость к новым технологиям IIoT на фоне усиления тренда цифровизации экономики страны в целом. Растет интерес к коробочным решениям и решениям российской разработки;

— в числе преимуществ, ожидаемых от цифровой трансформации, представители энергетических компаний относят возможность повысить эффективность технологического процесса транспорта электроэнергии, в том числе за счет обеспечения снижения потерь, сокращения сроков устранения аварийных ситуаций и предотвращения их возникновения вовсе, а также снизить затраты на ремонты и техническое обслуживание оборудования при переходе на «ремонт по состоянию».

Литература

1. Вызовы электросетевого комплекса и способы их преодоления. Стратегическая сессия ПАО «МРСК Центра» и ПАО «МРСК Центра и Приволжья». 2018. 19 с.
2. Rau N.S., Taylor B. A central inventory of storage and other technologies to defer distribution upgrades-optimization and economics // *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1998. V. 13. N 1. P. 194–202. doi: 10.1109/61.660878
3. Subudhi S., Agarwal P., Ghose T. A multistage concept for distribution system planning // *Proc. 1st Int. Conf. on Automation, Control, Energy and Systems (ACES)*. 2014. doi: 10.1109/ACES.2014.6808024
4. Mudiaba P.J. The impact of cloud technology on the automation of businesses // *Proc. Int. Conf. on Platform Technology and Service (PlatCon)*. 2016. doi: 10.1109/PlatCon.2016.7456831
5. Masera M., Bompard E.F., Profumo F., Hadjsaid N. Smart (electricity) grids for smart cities: assessing roles and societal impacts // *Proceedings of the IEEE*. 2018. V. 106. N 4. P. 613–625. doi: 10.1109/JPROC.2018.2812212
6. Luan W., Peng J., Maras M., Lo J., Harapnuk B. Smart meter data analytics for distribution network connectivity verification // *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2015. V. 6. N 4. P. 1964–1971. doi: 10.1109/TSG.2015.2421304
7. Cheng Z., Duan J., Chow M.Y. To centralize or to distribute: that is the question: a comparison of advanced microgrid management systems // *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2018. V. 12. N 1. P. 6–24. doi: 10.1109/MIE.2018.2789926
8. Du Y., Tu H., Lukic S., Lubkeman D., Dubey A., Karsai G. Development of a controller hardware-in-the-loop platform for microgrid distributed control applications // *IEEE Electronic Power Grid (eGrid)*. 2018. doi: 10.1109/eGRID.2018.8598696
9. Zhao C., Chen J., He J., Cheng P. Privacy-preserving consensus-based energy management in Smart Grids // *IEEE Transactions on Signal Processing*. 2018. V. 66. N 23. P. 6162–6176. doi: 10.1109/TSP.2018.2872817
10. Wang K., Hu X., Li H. et al. A survey on energy Internet communications for sustainability // *IEEE Transactions on Sustainable Computing*. 2017. V. 2. N 3. P. 231–254. doi: 10.1109/TSUSC.2017.2707122
11. Цифровой переход в электроэнергетике России [Электронный ресурс]. Москва, Центр стратегических разработок, 2017. 47 с. Режим доступа: https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf (дата обращения: 25.05.2019).
12. Alahakoon D., Yu X. Smart electricity meter data intelligence for future energy systems: a survey // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2016. V. 12. N 1. P. 425–436. doi: 10.1109/TII.2015.2414355

References

1. *Challenges of the Electric Grid Complex and Ways to Overcome Them*. Strategic session of IDGC of Center, PJSC and IDGC of Center and Volga Region, PJSC, 2018, 19 p. (in Russian)
2. Rau N.S., Taylor B. A central inventory of storage and other technologies to defer distribution upgrades-optimization and economics. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1998, vol. 13, no. 1, pp. 194–202. doi: 10.1109/61.660878
3. Subudhi S., Agarwal P., Ghose T. A multistage concept for distribution system planning. *Proc. 1st Int. Conf. on Automation, Control, Energy and Systems*, 2014. doi: 10.1109/ACES.2014.6808024
4. Mudiaba P.J. The impact of cloud technology on the automation of businesses. *Proc. Int. Conf. on Platform Technology and Service*, 2016. doi: 10.1109/PlatCon.2016.7456831
5. Masera M., Bompard E.F., Profumo F., Hadjsaid N. Smart (electricity) grids for smart cities: assessing roles and societal impacts. *Proceedings of the IEEE*, 2018, vol. 106, no. 4, pp. 613–625. doi: 10.1109/JPROC.2018.2812212
6. Luan W., Peng J., Maras M., Lo J., Harapnuk B. Smart meter data analytics for distribution network connectivity verification. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2015, vol. 6, no. 4, pp. 1964–1971. doi: 10.1109/TSG.2015.2421304
7. Cheng Z., Duan J., Chow M.Y. To centralize or to distribute: that is the question: a comparison of advanced microgrid management systems. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2018, vol. 12, no. 1, pp. 6–24. doi: 10.1109/MIE.2018.2789926
8. Du Y., Tu H., Lukic S., Lubkeman D., Dubey A., Karsai G. Development of a controller hardware-in-the-loop platform for microgrid distributed control applications. *IEEE Electronic Power Grid*, 2018. doi: 10.1109/eGRID.2018.8598696
9. Zhao C., Chen J., He J., Cheng P. Privacy-preserving consensus-based energy management in Smart Grids. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2018, vol. 66, no. 23, pp. 6162–6176. doi: 10.1109/TSP.2018.2872817
10. Wang K., Hu X., Li H. et al. A survey on energy Internet communications for sustainability. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, 2017, vol. 2, no. 3, pp. 231–254. doi: 10.1109/TSUSC.2017.2707122
11. *Digital Transition in the Power Industry of Russia*. Moscow, Center for Strategic Research, 2017, 47 p. Available at: https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf (accessed: 25.05.2019).
12. Alahakoon D., Yu X. Smart electricity meter data intelligence for future energy systems: a survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2016, vol. 12, no. 1, pp. 425–436. doi: 10.1109/TII.2015.2414355

13. Philip B.V., Alpcan T., Jin J., Palaniswami M. Distributed real-time IoT for autonomous vehicles // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2019. V. 15. N 2. P. 1131–1140. doi: 10.1109/TII.2018.2877217
14. Porumb R., Gheorghe S., Darie G., Boboc T. Analysis of power quality issues raised by PV generation and e-parking storage capacities in UPB smart grid environment // *Proc. 10th Int. Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2017. P. 802–807. doi: 10.1109/ATEE.2017.7905113
15. Nimbargi S., Mhaisne S., Nangare S., Sinha M. Review on AMI technology for Smart Meter // *Proc. Int. Conf. on Advances in Electronics Communication and Computer Technology (ICAECCT)*, 2016. P. 21–27. doi: 10.1109/ICAECCT.2016.7942549
16. Jing X., Tang P. Research and design of the intelligent inventory management system based on RFID // *Proc. 6th Int. Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*, 2013. doi: 10.1109/ISCID.2013.117
17. Вергазов С.Ю., Кириленков В.С. Технические решения по РЗА, предлагаемые ПАО «Россети» в рамках создания «Цифровых подстанций» [Электронный ресурс]. 2018. 9 с. Режим доступа: <http://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/04/3.-Rosseti.pdf> (дата обращения: 25.05.2019).
18. Мозохин А.Е., Дроздов В.Г., Староверов Б.А. Энергетика нового уклада (EnergyNet): проектирование интеллектуальных цифровых систем на электрических подстанциях. Кострома: Костромской государственный университет, 2018. 67 с.
19. Мозохин А.Е., Дроздов В.Г., Саликова Е.В. Системы сбора, передачи и отображения информации в распределительных электросетевых компаниях: практикум. Кострома: Костромской государственный университет, 2017. 56 с.
20. Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф., Холкин Д., Дацко К. Распределенная энергетика в России: потенциал развития [Электронный ресурс]. 2018. 87 с. Режим доступа: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf (дата обращения: 25.05.2019).
21. Duan Y., Li W., Zhong Y., Fu X. A multi-network control framework based on industrial internet of things // *Proc. IEEE 13th Int. Conf. on Networking Sensing and Control (ICNSC)*, 2016. doi: 10.1109/ICNSC.2016.7479021
22. Jayaram A. An IIoT quality global enterprise inventory management model for automation and demand forecasting based on cloud // *Proc. Int. Conf. on Computing, Communication and Automation (ICCA)*, Greater Noida, India, 2017. P. 1258–1263. doi: 10.1109/ICCA.2017.8230011
23. Wan J., Tang S., Shu Z., Li D., Wang S., Imran M., Vasilakos A.V. Software-defined industrial Internet of Things in the context of Industry 4.0 // *IEEE Sensors Journal*, 2016. V. 16. P. 7373–7380. doi: 10.1109/JSEN.2016.2565621
24. Gonçalves P., Ferreira J., Pedreiras P., Corujo D. Adapting SDN datacenters to support Cloud IIoT applications // *Proc. IEEE 20th Conference on Emerging Technologies Factory Automation (ETFA)*, 2015. doi: 10.1109/ETFA.2015.7301641
25. Al-Janabi S., Al-Shourbaji I., Shojafar M., Abdelhag M. Mobile cloud computing: challenges and future research directions // *Proc. 10th Int. Conf. on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, Paris, 2017. P. 62–67. doi: 10.1109/DeSE.2017.21
26. Bahrami M., Singhal M. DCCSOA: a dynamic cloud computing service-oriented architecture // *Proc. IEEE Int. Conf. on Information Reuse and Integration (IRI)*, San Francisco, USA, 2015. P. 158–165. doi: 10.1109/IRI.2015.33
27. Мозохин А.Е. Цифровые платформы интеллектуальных сервисов // Сборник докладов научно-технической конференции молодых специалистов РЕЛАВЭКСПО. Чебоксары, 2019. С. 240–245.
28. Мозохин А.Е. Технический учет — расширение горизонтов // *Электроэнергия. Передача и распределение*, 2018. № 2(9). С. 9–13.
29. Bahrami M. Cloud computing for emerging mobile cloud apps // *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. on Mobile Cloud Computing Services and Engineering*, 2015. doi: 10.1109/MobileCloud.2015.40
30. Moreno-Vozmediano R. et al. Key challenges in cloud computing: enabling the future internet of services // *IEEE Internet Computing*, 2013. V. 17. N 4. P. 18–25. doi: 10.1109/MIC.2012.69
31. Baek J., Vur Q.H., Liu J.K., Huang X., Xiang Y. A secure cloud computing based framework for big data information management // *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. on Mobile Cloud Computing Services and Engineering*, 2015. doi: 10.1109/MobileCloud.2015.40
32. Moreno-Vozmediano R. et al. Key challenges in cloud computing: enabling the future internet of services. *IEEE Internet Computing*, 2013, vol. 17, no. 4, pp. 18–25. doi: 10.1109/MIC.2012.69
33. Baek J., Vur Q.H., Liu J.K., Huang X., Xiang Y. A secure cloud computing based framework for big data information management of Smart Grid. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 233–244. doi: 10.1109/TCC.2014.2359460
34. Philip B.V., Alpcan T., Jin J., Palaniswami M. Distributed real-time IoT for autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2019, vol. 15, no. 2, pp. 1131–1140. doi: 10.1109/TII.2018.2877217
35. Porumb R., Gheorghe S., Darie G., Boboc T. Analysis of power quality issues raised by PV generation and e-parking storage capacities in UPB smart grid environment. *Proc. 10th Int. Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, ATEE, 2017, pp. 802–807. doi: 10.1109/ATEE.2017.7905113
36. Nimbargi S., Mhaisne S., Nangare S., Sinha M. Review on AMI technology for Smart Meter. *Proc. Int. Conf. on Advances in Electronics Communication and Computer Technology*, ICAECCT, 2016, pp. 21–27. doi: 10.1109/ICAECCT.2016.7942549
37. Jing X., Tang P. Research and design of the intelligent inventory management system based on RFID. *Proc. 6th Int. Symposium on Computational Intelligence and Design*, ISCID, 2013. doi: 10.1109/ISCID.2013.117
38. Vergazov S.Yu., Kirilenkov V.S. *Technical solutions for relay protection and automation offered by PJSC ROSSETI as part of the creation of Digital Substations*, 2018, 9 p. Available at: <http://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/04/3.-Rosseti.pdf> (accessed: 25.05.2019).
39. Mozokhin A.E., Drozdov V.G., Staroverov B.A. *Energy of the New Way (EnergyNet): Designing of Intelligent Digital Systems at Electric Substations*. Kostroma, Kostroma State University, 2018, 67 p. (in Russian)
40. Mozokhin A.E., Drozdov V.G., Salikova E.V. *Systems for Collecting, Transmitting and Displaying Information in Distribution Grid Companies: A Workshop*. Kostroma, Kostroma State University, 2017, 56 p. (in Russian)
41. Khokhlov A., Mel'nikov Yu., Veselov F., Kholkin D., Datsko K. *Distributed Energy in Russia: Development Potential*, 2018, 87 p. Available at: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf (accessed: 25.05.2019).
42. Duan Y., Li W., Zhong Y., Fu X. A multi-network control framework based on industrial internet of things. *Proc. IEEE 13th Int. Conf. on Networking Sensing and Control, ICNSC*, 2016. doi: 10.1109/ICNSC.2016.7479021
43. Jayaram A. An IIoT quality global enterprise inventory management model for automation and demand forecasting based on cloud. *Proc. Int. Conf. on Computing, Communication and Automation, ICCA*, Greater Noida, India, 2017, pp. 1258–1263. doi: 10.1109/ICCA.2017.8230011
44. Wan J., Tang S., Shu Z., Li D., Wang S., Imran M., Vasilakos A.V. Software-defined industrial Internet of Things in the context of Industry 4.0. *IEEE Sensors Journal*, 2016, vol. 16, pp. 7373–7380. doi: 10.1109/JSEN.2016.2565621
45. Gonçalves P., Ferreira J., Pedreiras P., Corujo D. Adapting SDN datacenters to support Cloud IIoT applications. *Proc. IEEE 20th Conference on Emerging Technologies Factory Automation, ETFA*, 2015. doi: 10.1109/ETFA.2015.7301641
46. Al-Janabi S., Al-Shourbaji I., Shojafar M., Abdelhag M. Mobile cloud computing: challenges and future research directions. *Proc. 10th Int. Conf. on Developments in eSystems Engineering*, Paris, 2017, pp. 62–67. doi: 10.1109/DeSE.2017.21
47. Bahrami M., Singhal M. DCCSOA: a dynamic cloud computing service-oriented architecture. *Proc. IEEE Int. Conf. on Information Reuse and Integration*, San Francisco, USA, 2015, pp. 158–165. doi: 10.1109/IRI.2015.33
48. Mozokhin A.E. Digital platforms of intellectual services. *Proc. Scientific and Technical Conference of Young Specialists RELAVEXPO*. Cheboksary, 2019, pp. 240–245.
49. Mazokhin A.E. Technical accounting — expanding horizons. *Electric Power*, 2018, no. 2(9), pp. 9–13. (in Russian)
50. Bahrami M. Cloud computing for emerging mobile cloud apps. *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. on Mobile Cloud Computing Services and Engineering*, 2015. doi: 10.1109/MobileCloud.2015.40
51. Moreno-Vozmediano R. et al. Key challenges in cloud computing: enabling the future internet of services. *IEEE Internet Computing*, 2013, vol. 17, no. 4, pp. 18–25. doi: 10.1109/MIC.2012.69
52. Baek J., Vur Q.H., Liu J.K., Huang X., Xiang Y. A secure cloud computing based framework for big data information management of Smart Grid. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 233–244. doi: 10.1109/TCC.2014.2359460

- of Smart Grid // IEEE Transactions on Cloud Computing. 2014. V. 3. N 2. P. 233–244. doi: 10.1109/TCC.2014.2359460
32. Islam T., Hashem M.M.A. A big data management system for providing real time services using fog infrastructure // Proc. IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics. Penang, Malaysia, 2018. doi: 10.1109/ISCAIE.2018.8405449
 33. Muthusamy V., Slominski A., Ishakian V. Towards enterprise-ready AI deployments minimizing the risk of consuming AI models in business applications // Proc. 1st Int. Conf. on Artificial Intelligence for Industries. Laguna Hills, USA, 2018. doi: 10.1109/AI4I.2018.8665685
 34. Промышленный интернет вещей в России. [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://fastsaltime.com/sections/obzor/1875.html> (дата обращения: 25.05.2019).
 35. Семеновская Е. Индустриальный интернет вещей. Перспективы российского рынка [Электронный ресурс]. 2016. 15 с. URL: https://www.company.rt.ru/projects/IIoT/study_IDC.pdf (дата обращения: 25.05.2019).
 36. Communications Billing and Revenue Management MAA on Oracle Engineered Systems [Электронный ресурс]. 2017. 57 p. Режим доступа: <https://www.oracle.com/technetwork/database/availability/brm-maa-2217121.pdf> (дата обращения: 25.05.2019).
 37. Система SE ADMS – решение Schneider Electric для управления распределительными сетями [Электронный ресурс]. 2017. 36 с. Режим доступа: www.бэсп.бел/docs/news/Obzor-reshenia-ADMS-ot-shneider-electric-final.pdf (дата обращения 25.05.2019).
 32. Islam T., Hashem M.M.A. A big data management system for providing real time services using fog infrastructure. *Proc. IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics*. Penang, Malaysia, 2018. doi: 10.1109/ISCAIE.2018.8405449
 33. Muthusamy V., Slominski A., Ishakian V. Towards enterprise-ready AI deployments minimizing the risk of consuming AI models in business applications. *Proc. 1st Int. Conf. on Artificial Intelligence for Industries*. Laguna Hills, USA, 2018. doi: 10.1109/AI4I.2018.8665685
 34. *Industrial Internet of Things in Russia*. 2018. Available at: <https://fastsaltime.com/sections/obzor/1875.html> (accessed: 25.05.2019).
 35. Semenovskaya E. *Industrial Internet of Things. Possibility of the Russian Market*. 2016. 15 p. Available at: https://www.company.rt.ru/projects/IIoT/study_IDC.pdf (accessed: 25.05.2019).
 36. *Communications Billing and Revenue Management MAA on Oracle Engineered Systems*. 2017. 57 p. Available at: <https://www.oracle.com/technetwork/database/availability/brm-maa-2217121.pdf> (accessed: 25.05.2019).
 37. *System SE ADMS – Schneider Electric Solution for Managing Distribution Networks*. 2017. 36 p. Available at: www.бэсп.бел/docs/news/Obzor-reshenia-ADMS-ot-shneider-electric-final.pdf (accessed: 25.05.2019).

Авторы

Мозохин Андрей Евгеньевич — кандидат технических наук, заместитель начальника отдела, Филиал ПАО «МРСК Центра» — «Костромаэнерго», Кострома, 156961, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-4673-8425, mozokhin@mail.ru

Шведенко Владимир Николаевич — доктор технических наук, профессор, ведущий специалист, ФГБУН Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН), Москва, 125190, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-3223-4982, vv_shved@mail.ru

Authors

Andrey E. Mozokhin — PhD, Deputy department head, IDGC Branch of Center – Kostromaenergo, Kostroma, 156961, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-4673-8425, mozokhin@mail.ru

Vladimir N. Shvedenko — D.Sc., Full Professor, Leading specialist, Russian Institute of Scientific and Technical Information of the RAS, Moscow, 125190, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-3223-4982, vv_shved@mail.ru