



Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

Yu. A. Nazarova, A. S. Korzin, A. S. Demidov, Analysis of the prospects for the iot technology in the electric power industry,
Comp. nanotechnol., 2021, Volume 8, Issue 4, 9–18

<https://www.mathnet.ru/eng/cn352>

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use

<https://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.14.86

April 22, 2025, 09:49:47



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

05.13.10

УПРАВЛЕНИЕ
В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-4-9-18

Анализ перспектив применения технологии интернета вещей в электроэнергетической отрасли

Ю.А. Назарова^{1, а} ©, А.С. Корзин^{1, b} ©, А.С. Демидов^{2, c} ©

¹ Российский университет дружбы народов,
г. Москва, Российская Федерация

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Российская федерация

^a E-mail: j.a.nazarova@mail.ru

^b E-mail: andrewkorzin@yandex.ru

^c E-mail: demidov.alexandre@gmail.com

Аннотация. Технологическое развитие все больше оказывает влияние на все сферы жизни, в том числе и на процессы производства, предлагая более совершенные решения по сравнению с существующими, однако путь к широкому применению иногда может быть очень долгим. Данная статья посвящена технологии интернета вещей и ее применимости в электроэнергетической отрасли. Авторами были рассмотрены преимущества и недостатки этой инициативы, также приводится характеристика рассматриваемой отрасли. Особое внимание уделяется предсказательному (превентивному) техническому обслуживанию. Дополнительно даны рекомендации по внедрению технологии на производствах электроэнергетической отрасли и выполнена их экономическая оценка. Было установлено, что в рамках предложенной модели интернет вещей может окупиться в среднем за пять лет после внедрения, что соответствует существующим оценкам аналогичных инициатив, а вложенные инвестиции способны сформировать инфраструктуру системы интернета вещей, которая может предложить комплексные решения отрасли, в том числе превентивное техническое обслуживание и ремонты «по состоянию». Отдельно авторами отмечается серьезная проблема – безопасность таких систем, что требует от компании дополнительного контроля как за используемым ПО, так и самими датчиками.

Ключевые слова: интернет вещей, предсказательное техническое обслуживание, экономическая эффективность, окупаемость, моделирование

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Назарова Ю.А., Корзин А.С., Демидов А.С. Анализ перспектив применения технологии интернета вещей в электроэнергетической отрасли // Computational nanotechnology. 2021. Т. 8. № 4. С. 9–18. DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-4-9-18

Analysis of the Prospects for the IoT Technology in the Electric Power Industry

Yu.A. Nazarova^{1, a} ©, A.S. Korzin^{1, b} ©, A.S. Demidov^{2, c} ©

¹ Peoples Friendship University of Russia,
Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russian Federation

^a E-mail: j.a.nazarova@mail.ru

^b E-mail: andrewkorzin@yandex.ru

^c E-mail: demidov.alexandre@gmail.com

Abstract. Technological development is increasingly influencing all spheres of life, including production processes, offering better solutions than existing ones, but the path to widespread use can sometimes be very long. This article focuses on IoT technology and its applicability in the electric power industry. The authors considered the advantages and disadvantages of this initiative, and a description of the industry in question is also given. Special attention is paid to predictive (preventive) maintenance. Additionally, recommendations were given on the implementation of the technology in the production of the electric power industry and their economic assessment was carried out. It was found that within the framework of the proposed model, the Internet of Things can begin to make a profit, starting on average from the 5th year after implementation, which is in line with the existing estimates of similar initiatives, and the funds spent will help form an IoT ecosystem that is able to offer comprehensive solutions to the industry, including preventive maintenance and repairs "as required". However, the security of such systems remains a serious problem, which requires additional control from the company both over the software used and the sensors themselves.

Key words: IoT, predictive maintenance, cost-effectiveness, cost recovery, simulation

FOR CITATION: Nazarova Yu.A., Korzin A.S., Demidov A.S. Analysis of the Prospects for the IoT Technology in the Electric Power Industry. *Computational Nanotechnology*. 2021. Vol. 8. No. 4. Pp. 9–18. (In Rus.) DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-4-9-18

ВВЕДЕНИЕ

В 1999 г. Квином Эштоном была создана система радиодатчиков, помогающая отслеживать складские запасы посредством передачи информации об их состоянии. С одной стороны, были улучшены логистические процессы и увеличена эффективность, с другой – сократилось участие человека, потому что стало возможным получать с радиодатчиков информацию о состоянии запасов. Эта технология получила название «интернет вещей» [Щербина, Стефанова, 2016].

Определить, что такое интернет вещей сложно по нескольким причинам. В первую очередь – это многофункциональность: интернет вещей применяется для решения множества задач: от мониторинга цепочек поставок до освещения домов и остановки поездов. Такой широкий диапазон означает трудности определения факторов обобщения технологий, сгруппированных в интернете вещей. Во вторую очередь технология рассматривается как часть триады в центре Четвертой промышленной революции (4IR) наряду с искусственным интеллектом (AI) и большими данными. Это подходящая группа, поскольку интернет вещей является источником больших данных, необходимых для создания алгоритмов искусственного интеллекта, но такая взаимосвязь приводит к ограниченному пониманию термина «интернет вещей».

В рамках статьи под интернетом вещей понимается система связанных между собой устройств, которые не являются

смартфонами или компьютерами, с возможностью подключения к интернету. Устройства внутри этой системы получают данные и обмениваются ими, а интернет вещей представляет собой экосистему «умных» вещей – компонентов системы.

Яркий пример интернета вещей – технология «умный дом», среди функций которой:

- 1) контроль за энергосбережением, водоснабжением, температурным режимом, освещением, системами мультимедиа;
- 2) формирование дистанционных отчетов для владельца.

Данные функции могут выполняться благодаря системе датчиков, координируемых контроллером. Важное преимущество системы – снижение затрат через дистанционное управление, аналитику и режим энергосбережения [Невмержицкий, 2016].

Интернет вещей находит применение в различных сферах: бизнесе, спорте, энергетике, образовании, транспорте.

Как можно увидеть на рис. 1, IoT – это дополнительный уровень информации, взаимодействия, транзакций и действий, который добавляется в интернет благодаря устройствам, оснащенным возможностями считывания, анализа и связи данных с использованием интернет-технологий. Интернет вещей все больше объединяет цифровые и физические реальности; обеспечивает автоматизацию, основанную на информации, и улучшения на уровне бизнеса, общества и жизни людей.

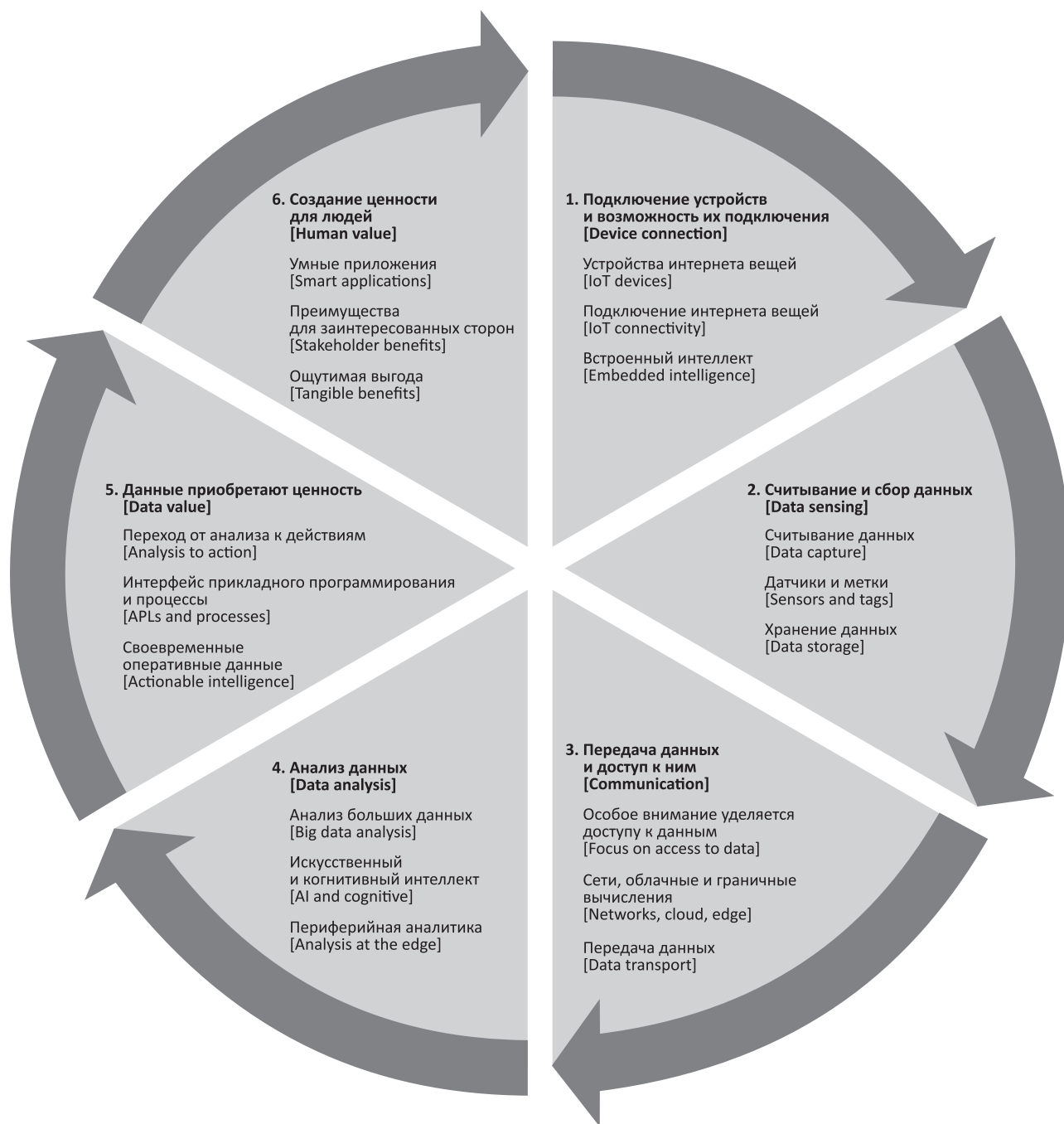


Рис. 1. Цикл технологии интернета вещей
Fig. 1. The cycle of Internet of Things technology

1. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Детальное рассмотрение плюсов и минусов интернета вещей не приводится в данной статье, однако, исходя из проведенного анализа литературы [Majd, 2021; Khushbu и др., 2021; Richa, Rama, 2021] можно выделить следующие преимущества:

- экономия времени и денег потребителя;
- принятие точных и обоснованных решений сотрудниками разного уровня благодаря полноте собираемых и анализируемых данных;

- понимание процессов, связанных с расходами и жизнью, для владельцев «умных» домов.

Но существуют также и недостатки:

- безопасность, так как последствия неисправностей могут быть катастрофическими;
- влияние интернета вещей на рынок труда и занятость населения в различных отраслях.

С преодолением отмеченных недостатков будет возможно более широкое внедрение технологии и повышение доверия к интернету вещей среди индивидуальных потребителей и компаний.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Для возможности рассмотрения применения интернета вещей в электроэнергетике, рассмотрим ее особенности. Электроэнергетика – это отрасль экономики, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства, передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии.

Пандемия и связанные с ней ограничения изменили вектор развития отрасли и экономики в целом, оказали влияние на мировые тенденции. Мировой спрос на энергию снизился на 3,8% в первом квартале 2020 г., при этом большая часть последствий стала ощутимой в марте, когда был введен режим самоизоляции в Европе, Северной Америке и других странах.

По прогнозам, мировой спрос на электроэнергию упадет на 5%, а в некоторых регионах – на 10%. Источники с низким содержанием углерода будут значительно лидировать по отношению к угольной генерации во всем мире, увеличив лидерство, установленное в 2019 году. Однако, как и после предыдущих мировых кризисов, рост выбросов может увеличиться, а не снизиться, если инвестиции для перезапуска экономики не будут направлены на создание более чистой и устойчивой энергетической инфраструктуры [Leitão и др., 2021; Wang и др., 2021].

Действительно, пандемия в значительной мере снизила рост спроса на электроэнергию, что вызвало ряд проблем в отрасли, однако к концу года ситуация изменилась, и ряд

показателей достиг значений 2019 г., а спрос в некоторых странах незначительно превысил их.

Для России электроэнергетика является системообразующей отраслью и отличается высокой социально-экономической важностью, поэтому возникает необходимость в государственном регулировании этой индустрии.

Главная особенность электроэнергетики заключается в том, что этот рынок является регулируемым. В данной отрасли низкая инновационная активность, что, возможно, будет иметь негативное влияние на экономику предприятий отрасли, а выручка компаний электроэнергетической отрасли в значительной степени зависит от доходов населения [Маслова, Данеев и др., 2019]. Несмотря на то, что в зоне государственного контроля находятся как технологическая, так и коммерческая инфраструктура рынка, в качестве конкурентных сред могут выступать сбыт и производство электроэнергии.

Рассмотрим электроэнергетику с инвестиционной точки зрения. Для этого воспользуемся показателем под названием мультипликатор EV/EBITDA, который характеризует окупаемость стоимости компании. Он рассчитывается по формуле:

$$\frac{EV}{EBITDA} = \frac{\text{Рыночная капитализация} + \text{Чистый долг}}{EBITDA} \quad (1)$$

Благодаря ему можно определить период окупаемости вложений в компанию. Если этот показатель равен X, то вложения окупятся через X лет, что также означает и следующее: если значение мультипликатора EV/EBITDA ниже среднего по отрасли, то акции компании являются недооцененным.

Данные об участниках электроэнергетического рынка представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения мультипликатора EV/EBITDA (по состоянию на конец 2020 г.)
[EV/EBITDA Multiplier Values (as of the end of 2020)]

Показатель [Indicator] Компания [Company]	Рыночная капитализация, млрд руб. [Market capitalization, RUB bln]	Чистый долг, млрд руб. [Net debt, RUB bln]	EBITDA, млрд руб. [EBITDA, RUB bln]	Стоимость (EV), млрд руб. [Enterprise Value (EV), RUB bln]	EV/EBITDA	Отклонение от среднего по отрасли [Deviation from industry average]
ПАО «Россети» [PJSC Rosseti]	349,60	498,00	288,50	847,60	2,94	2,52
ОАО «Иркутскэнерго» [OJSC Irkutskenergo]	55,20	180,00	19,10	235,20	12,31	-6,85
ПАО «Русгидро» [PJSC RusHydro]	334,30	147,70	120,30	482,00	4,01	1,45
ПАО «ФСК ЕЭС» [PJSC FGC UES]	278,00	196,90	133,00	474,90	3,57	1,89
ПАО «МРСК Центра» [PJSC IDGC of Center]	17,00	46	20,30	63,00	3,10	2,36
ПАО «МОЭСК» [PJSC MOESK]	67,80	84,20	33,70	152,00	4,51	0,95
ПАО «Пермэнерго» [PJSC Permenergosbyt]	7,15	-1,86	1,21	5,29	4,37	1,09
ПАО «Мосэнерго» [PJSC Mosenergo]	89,80	7,40	30,50	97,20	3,19	2,27
ПАО «Кубаньэнерго» [PJSC Kubanenergo]	19,50	28,80	4,86	48,30	9,94	-4,48
ПАО «Юнипро» [PJSC Unipro]	176,30	-0,19	26,40	176,11	6,67	-1,21
Среднее по отрасли [Industry average]					5,46	

Как видно из анализа мультипликатора EV/EBITDA для отрасли характерен достаточно большой срок окупаемости вложений, хотя ряд компаний (ПАО «Россети», ПАО «МРСК Центра», ПАО «Мосэнерго») обладает большей инвестиционной привлекательностью по сравнению с другими участниками рынка. Стоит помнить о том, что столь низкие значения по отрасли могут объясняться большими дивидендами или высоким темпом роста.

Безусловно, инновационное развитие компаний невозможно без выделения дополнительных средств на внедрение новых технологий и улучшения существующих, и помимо средств самого предприятия для этих целей могут быть использованы разного рода инвестиции, и, как показано в табл. 1, у некоторых компаний отдача от вложений достаточно высокая. К тому же положительные изменения в секторе энергетики имеют значение не только для акционеров, но и для конечных потребителей, так как стоимость и качество оказываемых услуг и поставляемых продуктов улучшается вследствие инновационного развития.

3. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Глобальный климатический кризис требует довольно разноплановых инноваций. В энергетическом секторе интернет вещей может способствовать изменениям в электросетях на системном уровне и помогать конечным пользователям экономить энергию домохозяйств. В эпоху ископаемого топлива многие электросети являются однонаправленными, и небольшое количество централизованных электростанций отправляют энергию потребителям. Энергетические системы с низким содержанием углерода требуют разнонаправленной энергии, получаемой из новых источников энергии, таких как солнечные панели на крышах зданий и ветряные турбины, с интеллектуальными сетями и одноранговыми энергетическими системами, которые позволяют потребителям продавать электроэнергию обратно сетевым компаниям. Также появляются новые источники спроса, требующие подключения к сетевым системам, такие как станции зарядки электромобилей и док-станции для электросамокатов. Для того чтобы сделать возможным подключение к сети этих новых и разнообразных источников энергии, и чтобы новые типы участников на рынке электроэнергии, например потребители, могли продавать излишки энергии обратно сетевым компаниям, возникает необходимость в создании так называемого «интернета энергии», технологии, которая осуществляется с помощью интернета вещей.

Интернет вещей может собирать детализированные данные об энергии с помощью подключенных датчиков и интеллектуальных счетчиков, которые позволяют операторам сетей оптимизировать развертывание возобновляемых источников энергии, а также принимать обоснованные решения о том, какой объем зеленой энергии можно подключить к сети, избегая таких рисков, как скачки напряжения. Это могло бы помочь и потребителям, и производителям альтернативных видов энергии, таким как местные предприятия, монетизировать свои возобновляемые активы, повышая рентабельность первоначальных затрат. Интернет вещей также меняет то, как потребители внутри одного государства используют энергию. Наиболее наглядным примером являются интеллектуальные счетчики, которые собирают информацию об использовании энергии практически в реальном

времени и делают ее доступной для домовладельцев через информационную панель. Цель состоит в том, чтобы помочь людям точно понять, сколько энергии они используют, и где они могут экономить. В связи с тем, что все больше устройств подключаются к интернету, эта технология быстро развивается, что позволяет вносить их данные в интеллектуальный счетчик. Функциональные возможности также улучшаются, поскольку устройства могут не только предупреждать пользователей о потерях энергии, но и становятся способны автоматически оптимизировать использование энергии, например изменять кондиционирование и температуру в зависимости от количества людей в помещении. По словам Фрэнка Пулмана, который разрабатывает платформу для умного дома в Residential IoT Services, ключом к успеху с использованием интернета вещей в домашних условиях будет решение проблемы разрозненных данных между устройствами разных производителей. Он считает, что обмен данными между облачными серверами поможет проживающим контролировать все свои устройства с помощью одной центральной панели управления – независимо от производителя [Naaker и др., 2021]. Обратим внимание на то, как интернет вещей может повлиять на электроэнергетику. Среди ключевых преимуществ можно выделить следующие:

- для потребителей (управление спросом, производство электроэнергии);
- для генераторов (повышение эффективности, распределенной генерации, зеленая энергетика);
- для сетей (возможность выбирать производителя, улучшенная коммуникация между участниками);
- для самой технологии (управление активами в режиме реального времени, значительный рост надежности);
- для экономики предприятия (сокращение затрат на топливо, оплату труда, ремонтные работы, уменьшение потерь);
- для создания новых продуктов (большие данные, «интернет энергии», персональная электроэнергетика).

Помимо перечисленных преимуществ можно отметить, что внедрение технологий интернета вещей приведет и к появлению новых рынков, созданию новых свойств и компаний.

На данный момент наибольший интерес представляет мониторинг состояния электросетей, который включает в себя мониторинг генерирующих мощностей, потребления, контроль за износом оборудования.

Полагают, что технологии интернета вещей позволит значительно уменьшить число аварий благодаря своевременному и оперативному информированию о ненормативном режиме работы оборудования, и, как следствие, предсказательному (превентивному) ремонту и/или техническому обслуживанию.

Рассмотрим следующий пример: в трансформаторе устанавливается датчик масла, который сообщает информацию о температуре, наличии протечек и других неисправностей, это, в свою очередь, позволит предсказать и/или предотвратить выход из строя данного трансформатора и даже более серьезные последствия, такие как пожар.

В случае если электростанции оборудованы системой интернета вещей, становится возможным получать информацию о работе оборудования в режиме реального времени, что позволяет принимать своевременные решения о проведении ремонта. Также эта технология может оптимизировать время остановок оборудования и свести к минимуму риск аварий.

Несмотря на то, что у оборудования по регламенту есть установленный срок эксплуатации, на практике свои

и поломки могут произойти в любой момент, а не только после окончания срока полезного использования, что требует постоянного контроля в режиме реального времени. Также, если был произведен плановый ремонт, дополнительно появляется возможность выделить этот объект из ряда аналогичных и анализировать более тщательно данные, получаемые от установленных на нем датчиков.

Более того сотрудники ремонтных служб могут быть проинформированы заранее о возможных сбоях, поломках и предстоящих ремонтах, чтократно увеличивает эффективность их работы, снижает потребность в большом количестве и размере ремонтных бригад, приводит к сокращению затрат как на ремонт, так и на фонд оплаты труда.

В рамках данного исследования будет рассмотрены эффекты от внедрения технологии интернета вещей для проведения ремонтов и обслуживания оборудования компаний электроэнергетики.

4. ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Среди производителей сбор данных с помощью датчиков интернета вещей становится все более распространенным, так же, как и использование интеллектуальных алгоритмов для обнаружения признаков потенциальных сбоев до их возникновения. Цель профилактического обслуживания – помочь определить состояние оборудования, чтобы было возможным оценить, когда его следует проводить. Ожидается, что применение этого метода приведет к экономии затрат по сравнению с плановым или временным профилактическим обслуживанием. Задача состоит в том, чтобы выполнять работы по техническому обслуживанию, когда это наиболее рентабельно и до того, как производительность оборудования снизится. Это также помогает предотвратить непредвиденные отказы оборудования. Традиционное плановое или ограниченное по времени техническое обслуживание трудоемко и неэффективно при выявлении проблем, возникающих между плановыми проверками.

Помимо датчиков и устройств для сбора данных об оборудовании, профилактическое обслуживание требует дополнительных компонентов из полного арсенала технологий, среди которых можно выделить сети связи, платформу IoT для обработки и хранения данных и программные приложения для расширенной аналитики данных. В профилактическом обслуживании могут использоваться различные методы неразрушающего контроля для оценки состояния оборудования, такие как инфракрасные, акустические, вибрационные, звуковые, анализ масла и другие. Также принято сопоставлять данные об оборудовании с данными о производительности процесса, которые измеряются другими устройствами. Сети беспроводных датчиков часто создаются для снижения затрат на монтаж. Платформа IoT может находиться на производстве или в облаке, в зависимости от того, что нужно клиенту, и эти решения отличаются по цене. Помимо технических компонентов IoT, инвестиции в решение для профилактического обслуживания должны также покрывать необходимые расходы переходного периода (обновление процессов и рабочих инструкций, развитие навыков и управление изменениями).

Меры, осуществляемые с помощью интернета вещей, для профилактического обслуживания в итоге оказывают влияние как на производственную деятельность предприятия, так и на финансовые результаты компании, сокращая время простоя, количество оборудования, вышедшего

из строя, уточняя время проведения технического обслуживания (ТО) и ремонтов.

Концепция предсказательного технического обслуживания (ПТО) состоит в следующем:

- при **обычной эксплуатации оборудования** оно проходит разные стадии (оптимальное состояние, появление признаков износа, ухудшение показателей) вплоть до поломки и ремонта.
- при **интеллектуальной (умной) эксплуатации оборудования на этапе появления первых признаков износа** фиксируется ухудшение состояния, а когда показатели ухудшаются до критических значений, проводится ПТО, тем самым предотвращается поломка.

Такое ТО становится возможным благодаря анализу закономерностей в наборе данных, которые поступают с установленных датчиков, а именно выявление критических значений показателей, которые означают необходимость принятия разного рода мер. В этом и заключается задача ПТО.

Система ПТО устроена следующим образом:

- 1) сбор и передача данных с инженерных систем;
- 2) хранение данных, их предобработка и приведение к единому формату, построение предсказательных моделей;
- 3) визуализация результатов предсказательной аналитики.

Отметим, что первый и третий этапы могут значительно отличаться как на предприятиях разных отраслей, так и по специфике системы управления жизненным циклом изделия даже в рамках одной отрасли. На втором этапе возможна унификация алгоритмов предсказательной аналитики, что может сделать их отдельным продуктом.

Считается, что интернет вещей имеет большой потенциал для сетевых компаний, так как сокращение затрат играет здесь большую роль как для компаний, так и для потребителей. Среди затрат, которые можно сократить, ремонт и эксплуатация. Если сетевые компании изменят свой подход к проведению ремонтных работ (от регламентных до «по состоянию»), то экономия от такого решения начиная с 2017 до 2025 г. может составить более 8 млрд руб. Сокращение эксплуатационных затрат и трудоемкости обслуживания достигается благодаря технологии интернета вещей, так как наблюдение за объектом может происходить в режиме реального времени дистанционно, а не на месте.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Считается, что превентивные ремонты и обслуживание имеют достаточно высокий потенциал, который в то же время является тактическим и стратегическим направлением.

Как было описано ранее, внедрение мер предсказательного ремонта потребует следующих действий:

- 1) приобретение датчиков и оснащение ими оборудования;
- 2) создание инфраструктуры интернета вещей (платформы);
- 3) сбор данных с меток;
- 4) анализ собранных данных для выявления закономерностей, которые появляются накануне неисправностей и поломок;
- 5) создание (внедрение или закупка) алгоритма обнаружения «аномалий» на основе установленных закономерностей;
- 6) внедрение алгоритма в экосистему интернета вещей.

Как показывает сопоставление плана и факта ремонтов в одной из дочерних компаний ПАО «Россети», существует разрыв между планируемыми и понесенными затратами (табл. 2).

Таблица 2

**План-факт ремонтов ПАО «МРСК Центра» за 2020 г.
[Plan-fact comparison of repairs of public stock company
'IDGC of Center' for 2020]**

Наименование показателя [Indicator]	Значение, тыс. руб. [Value, thousand rubles]
Факт ремонтов ПАО «МРСК Центра» за 2020 г. [Repair fact of IDGC of Center, PJSC for 2020]	5 236 071,6
План ремонтов ПАО «МРСК Центра» на 2020 г. [Repair plan of IDGC of Center, PJSC for 2020]	4 970 201,7
Разница [Difference]	-265 869,9

Целью внедряемой технологии является сокращение такого разрыва, а впоследствии, и его полная ликвидация, так как ремонт «по состоянию» или превентивное техническое обслуживание решают проблемы планирования ремонтных работ.

Однако на всех этапах особое внимание следует уделить безопасности, так как системы имеют уязвимости на разных уровнях. В связи с тем, что для реализации технологии потребуется система различных датчиков, то создание единой системы безопасности может быть затруднительным, также экосистема интернета вещей подвержена хакерским атакам, несанкционированному доступу и другим угрозам. Подвержены угрозам ПО, облачные сервисы и хранилища, которые используются для обеспечения технологии [Соколов и др., 2015]. По этим причинам компании в системообразующей отрасли невозможно реализовать технологию интернета вещей с помощью аутсорсинга, так как угрозы и риски не ограничиваются самим предприятием, а распространяются на потребителей и другие производства. Поэтому потребуется разработка собственного ПО с высокой степенью надежности, его испытания и отладка, разработка протоколов безопасности и применение других мер для предотвращения утечек информации и подрыва поставок электроэнергии. Введение превентивных ремонтов не может быть изолировано от других многообещающих применений технологии интернета на предприятии, следовательно, в данной работе на этапе оценки экономической эффективности будет затруднительно выделить финансирование только этих мер и отдачу от них, так как не рекомендуется ограничиваться данными изменениями, поскольку необходимая инфраструктура может быть использована для решения ряда задач.

6. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Рассмотрим ряд кейсов, чтобы уточнить процесс оценки эффективности внедрения интернета вещей.

- В 2019 г. компания ГЛОНАСС-ТМ планировала начать финансирование проекта по созданию промышленного интернета вещей с капитальными затратами в объеме 53 млрд руб., рассчитывая на то, что данный проект через 5 лет станет рентабельным.

- В «Интер РАО – Электрогенерация» внедряется система сбора, передачи и расчета технологической информации, перед которой ставятся 2 задачи – повышение показателей надежности (в частности контроль за оборудованием, прошедшим ремонт) и сокращение затрат благодаря более качественному управлению расходом топлива. Считается, что проект окупится за 5–7 лет.
- Проект «Цифровой РЭС», реализация которого позволит сократить затраты на ремонт и эксплуатацию оборудования, уменьшить потери, повысить надежность, предполагает наблюдение за оборудованием в режиме реального времени. Срок окупаемости данной инициативы составляет 5 лет.

Для моделирования внедрения технологии интернета вещей определим величину капитальных вложений в размере 53 млрд руб. Предположим, что в первый год отдача составит 1/10 от изначальной стоимости (в некоторых случаях срок реализации технологии оценивается в 10 лет), а впоследствии каждый год доход увеличивается в X раз, где X принадлежит интервалу [1; 2]. Анализ кейсов показывает, что проект станет приносить прибыль на 5–7 год.

Для определения ставки дисконтирования применим два подхода [Попандопуло, 2005].

-

$$ROCE = \frac{\text{Чистая операционная прибыль после налогообложения}}{\text{Собственный капитал} + \text{Заемный капитал}} \quad (2)$$

-

$$WACC = \frac{E}{D+E} r_e + \frac{D}{D+E} r_d (1-t), \quad (3)$$

где E – собственные средства; D – заемные средства; r_e – стоимость собственного капитала; r_d – стоимость заемного капитала; t – ставка налога на прибыль.

Подставим значения в приведенные выше формулы:

$$ROCE = \frac{29\,545\,887}{496\,834\,692 + 15\,000\,000};$$

$$WACC = \frac{496\,834\,692}{496\,834\,692 + 26\,306\,574} \times \frac{29\,545\,887}{496\,834\,692} + \frac{26\,306\,574}{496\,834\,692 + 26\,306\,574} \times \frac{1\,050\,350}{26\,306\,574} (1-0,2).$$

В первом случае было получено значение 5,77%, во втором – 5,81%, для удобства расчетов ставку дисконтирования можно принять равной 6%.

Для оценки экономической эффективности воспользуемся тремя основными показателями [Глухов, 2008].

- Чистый дисконтированный доход (NPV)

$$NPV = \sum_m (\Pi_m - O_m) \frac{1}{(1+E)^{t_m - t_0}}, \quad (4)$$

где Π_m – поступление; O_m – отток денежных средств, E – ставка дисконтирования, t_m – время окончания, t_0 – время начала проекта.

- Внутренняя норма доходности (IRR)

$$NPV = \sum_m (\Pi_m - O_m) \frac{1}{(1+IRR)^{t_m - t_0}} - IC = 0, \quad (5)$$

где IC – первоначальные инвестиции в проект.

3. Индекс доходности (PI)

$$PI = \frac{\sum_m (P_m - O_m)}{\sum_m K_m}, \quad (6)$$

где K_m – капитальные вложения.

Приведем пример выполненного моделирования.

Как можно увидеть, в 2026 г. проект стал прибыльным. В табл. 3 не приведены все последующие периоды, так как, начиная с 2026 г. отдача от инвестиций стала положительной. Аналогичные расчеты были выполнены для того, чтобы сформировать лучшее понимание экономической эффективности этого инновационного проекта (табл. 4).

Таблица 3

Моделирование при факторе $X = 1,4$
[Simulation with factor $X = 1.4$]

Наименование показателя [Indicator]	Итого [Total]	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Капитальные вложения, млрд руб. [Capital expenditures, RUB bln]	53,00	53,00						
Чистый доход, млрд руб. [Net income, RUB bln]	255,34	-53,00	4,42	6,18	8,66	12,12	16,97	23,75
Ставка дисконтирования, % [Discount rate, %]		6,00%						
Фактор дисконтирования [Discount factor]		1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70
Дисконтированный суммарный поток, млрд руб. [Discounted total flow, RUB bln]	300,01	-53,00	4,17	5,50	7,27	9,60	12,68	16,75
Дисконтированный суммарный поток, нарастающим итогом, млрд руб. [Discounted total flow, cumulative total, RUB bln]		-53,00	-48,83	-43,33	-36,06	-26,46	-13,78	2,96
NPV, млрд руб. [NPV, RUB bln]	300,01							
IRR, %	33,2							
PI	5,66							

Таблица 4

Результаты моделирования
[Simulation results]

Фактор X [Factor X]	NPV	IRR	PI	Срок окупаемости с учетом дисконтирования [Payback period taking into account the discounting]
1	-15,97	0,0%	-0,3	Не наступает за 10 лет [Does not occur in 10 years]
1,2	55,24	16,8%	1,04	2028
1,4	300,01	33,2%	5,66	2026
1,6	1082,94	49,5%	20,43	2025
1,8	3372,36	65,5%	63,63	2025
2	9506,67	81,3%	179,37	2024

Для всех X полученные значения IRR выше рассчитанной ставки дисконтирования, однако начиная с $X = 1,4$ ВНД начинает превышать рентабельность по EBITDA (28,8% [40]) и $PI \gg 1$. Также это соответствует ожиданиям компаний, которые инвестируют и готовы инвестировать в технологию интернета вещей. Значит, более точными прогнозами являются те, при расчете которых применялось $X \geq 1,4$, то есть каждый год отдача от внедрения технологии должна возрастать более чем на 40%, чтобы проект можно было считать окупаемым и эффективным, а выполненную оценку верной, что лишь подчеркивает его коммерческий потенциал.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы.

- Интернет вещей – технология, которая может решить многие проблемы электроэнергетической отрасли, в числе которых проведение превентивных ремонтов, мониторинг состояния сетей и оборудования в реальном времени. Однако область применения предсказательного технического обслуживания не ограничивается исключительно одной отраслью

Назарова Ю.А., Корзин А.С., Демидов А.С.

и может представлять интерес для других производств. Особенно важно предотвращать поломки в сложных многообъектных системах на промышленных объектах.

2. В рамках предложенной модели эта технология может начать приносить прибыль, начиная в среднем с 5 года после внедрения, что соответствует существующим оценкам аналогичных инициатив, а затраченные средства помогут сформировать экосистему интернета вещей, которая способна предложить комплексные решения для отрасли.
3. В идеальном исходе система ремонта «по состоянию» может решить проблему план-факта, так как будет возможно предотвращать поломки и проводить обслуживание до наступления критических ситуаций, что в свою очередь сократит затраты компании и повысит надежность используемого оборудования.
4. Однако до сих пор серьезной проблемой остается опасность таких систем, что требует от компании до-

полнительного контроля как за используемым ПО, так и самими датчиками.

Поэтому можно предложить внедрение пилотного проекта, его анализ и доработку до повсеместного внедрения, так как в случае сбоя или выхода из строя более масштабной системы нарушится подача электричества потребителям. Дополнительно для реализации проекта следует выбрать один объект, например, подстанцию, проанализировать работу оборудования, выявить закономерности и аномалии, а затем протестировать уточненный алгоритм на аналогичном объекте, чтобы проверить, как система работает не на изначальном, а на другом объекте. Далее есть смысл создать замкнутую систему из разного рода объектов, предварительно подготовив для них алгоритмы и процедуры. Если эта экосистема успешно функционирует, то есть ремонты и обслуживания проводятся до поломок и предотвращают их, то данный проект можно постепенно масштабировать. Не рекомендуется начинать повсеместное внедрение без предварительных испытаний.

Литература / References

1. Glukhov V.V., Sergeev A.I. Analysis of indicators of the efficiency of investment projects. *Scientific and Technical Statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. Economic Sciences*. 2008. No. 4 (61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-pokazateley-effektivnosti-investitsionnyh-proektov>
2. Leitão J., Ferreira J., Santibanez-González E. New insights into decoupling economic growth, technological progress and carbon dioxide emissions. *Evidence from 40 Countries, Technological Forecasting and Social Change*. 2022. Vol. 174. P. 121250. ISSN 0040-1625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121250>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162521006843>
3. Khushbu G., Chandramani G., Chhatrawat R.S. et al. Internet of things in manufacturing. A Review, *Materials Today. Proceedings*. 2021. ISSN 2214-7853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.321>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321039158>
4. Majd S.A. Designing of internet of things for real time system. *Materials Today. Proceedings*. 2021. ISSN 2214-7853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.527>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321026122>
5. Maslova P.A., Daneev O.V. Econometric study of the electricity market in Russia. *Hrono Economics*. 2019. No. 3 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonometricheskoe-issledovanie-rynka-elektroenergetiki-rossii>
6. Nevmerzhijskiy V.L. Smart houses. *Innovation Management: Theory, Methodology, Practice*. 2016. No. 15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umnye-doma>
7. Popandopulo A.Yu. Determination of the discounting rate. *Bulletin of Moscow University. Series 6: Economy*. 2005. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-stavki-diskontirovaniya>
8. Ranran Wang, Assenova V.A., Hertwich E.G. Energy system decarbonization and productivity gains reduced the coupling of CO₂ emissions and economic growth in 73 countries between 1970 and 2016. *One Earth*. 2021. ISSN 2590-3322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.010>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332221005492>
9. Richa Singhai, Rama Sushil. An investigation of various security and privacy issues in Internet of Things. *Materials today. Proceedings*. 2021. ISSN 2214-7853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.259>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532105118X>
10. Shcherbinina M.Y., Stefanova N.A. Concept of the Internet of Things. *Creative Economy*. 2016. No. 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-internet-veschey>
11. Sokolov M.N., Smolyaninova K.A., Yakusheva N.A. Security problems Internet of Things: Survey. *Voprosy kiberneticheskoy bezopasnosti*. 2015. No. 5 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-bezopasnosti-internet-veschey-obzor>
12. Timber Haaker, Pham Thi Minh Ly, Nhan Nguyen-Thanh, Hanh Thi Hong Nguyen. Business model innovation through the application of the Internet-of-Things: A comparative analysis. *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 126. Pp. 126–136. ISSN 0148-2963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.034>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296320308614>

Статья проверена программой Антиплагиат. Оригинальность – 97,16%

Рецензент: Самусенко О.Е., кандидат технических наук, старший научный сотрудник; директор Департамента инновационного менеджмента в отраслях промышленности Инженерной академии Российского университета дружбы народов

Статья поступила в редакцию 04.10.2021, принята к публикации 10.11.2021
The article was received on 04.10.2021, accepted for publication 10.11.2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Назарова Юлия Александровна, кандидат экономических наук, доцент; доцент Департамента инновационного менеджмента в отраслях промышленности Инженерной академии Российского университета дружбы народов. Москва, Российская Федерация. SPIN-код: 8702-4283; Author ID: 788815; ORCID ID: 0000-0002-5017-0281. E-mail: j.a.nazarova@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Yulia A. Nazarova, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor; associate professor at the Department of Innovation Management in Industries of the Academy of Engineering at Peoples Friendship University of Russia (RUDN University). Moscow, Russian Federation. SPIN-код: 8702-4283; Author ID: 788815; ORCID ID: 0000-0002-5017-0281. E-mail: j.a.nazarova@mail.ru

Корзин Андрей Сергеевич, лаборант кафедры иностранных языков Инженерной академии Российского университета дружбы народов, бакалавр управления в технических системах. Москва, Российская Федерация. SPIN-код: 8229-7233; Author ID: 1088176; ORCID ID: 0000-0003-2441-7954; E-mail: andrewkorzin@yandex.ru

Демидов Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры общих проблем управления Механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Москва, Российская Федерация. Author ID: 7693; Scopus Author ID: 7004500149; E-mail: demidov.alexandre@gmail.com

Andrey S. Korzin, laboratory assistant at the Department of Foreign Languages of the Academy of Engineering at Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), Bachelor of Management in Technical Systems. Moscow, Russian Federation. SPIN-код: 8229-7233; Author ID: 1088176; ORCID ID: 0000-0003-2441-7954; E-mail: andrewkorzin@yandex.ru

Alexander S. Demidov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor; professor at the Department of General Problems of Control of the Faculty of Mechanics and Mathematics of the Lomonosov Moscow State University. Moscow, Russian Federation. Author ID: 7693; Scopus Author ID: 7004500149; E-mail: demidov.alexandre@gmail.com