

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕКТОРАХ ЭКОНОМИКИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Гальперова Елена Васильевна

К.т.н., доцент, старший научный сотрудник отдела Энергетической безопасности

e-mail: galper@isem.irk.ru

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Аннотация. Прогнозирование спроса на топливно-энергетические ресурсы является важной фундаментальной частью исследований при разработке и принятии стратегических решений в области энергетической и экономической безопасности страны и регионов. Выявление и анализ влияния факторов и взаимосвязей в энергетике и экономике на объемы и структуру спроса на энергоносители являются неотъемлемой частью методологии долгосрочного прогнозирования энергопотребления. Использование цифровых технологий, связанное с мониторингом, получением, обработкой больших объемов данных во всех сферах экономики и жизни населения уже сегодня приводит к потреблению более 5% электроэнергии в мире и предполагается дальнейший рост этого потребления. В статье анализируются основные цифровые технологии в разных секторах экономики. Приводятся отдельные оценки их влияния на спрос на разные виды ТЭР. Отмечается большая неопределенность в существующих оценках перспективного энергопотребления, зависящая от возможной политики государства, изменений в стиле жизни населения, скорости развития и внедрения технических инноваций.

Ключевые слова: энергопотребление, энергоэффективность, энергосбережение, цифровые технологии, центр обработки данных, подключенные устройства.

Цитирование: Гальперова Е.В. Анализ перспектив применения цифровых технологий в секторах экономики и их влияния на энергопотребление // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 20–30. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-02

Введение. Долгосрочное прогнозирование спроса на разные виды энергоносителей является важным этапом при разработке программ и стратегий развития энергетики и экономики страны и регионов, а также принятия решений в области политики повышения качества жизни населения. Долгосрочное прогнозирование спроса на энергоносители является многоэтапным и многоуровневым процессом исследования влияния факторов в меняющихся условиях развития энергетики и экономики на объемы и структуру динамики топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Одним из новых факторов научно-технического прогресса, в корне меняющим в перспективе взаимосвязи потребителей и производителей энергии, является внедрение цифровых технологий [12, 14, 28]. В ИСЭМ СО РАН разработан [2, 3] и постоянно развивается [4] методический подход к долгосрочному прогнозированию спроса на топливо и энергию, дальнейшее совершенствование которого идет в направлении учета особенностей развития интеллектуальных электроэнергетических систем, в частности,

появления активных потребителей и исследования их влияния на уровни спроса на электроэнергию [5, 22]. Однако, распространение цифровых технологий затрагивает и другие сектора экономики предоставляя им новые возможности в развитии и управлении. В связи с этим, анализ возможных направлений внедрения цифровых технологий в отдельных отраслях экономики и их влияния на энергопотребление становятся важным и актуальным для дальнейшей модернизации методического подхода к долгосрочному прогнозированию спроса на энергоносители. Целью статьи является анализ возможного влияния распространения цифровых технологий на перспективную динамику энергопотребления.

Существующее состояние. Уже сегодня цифровые технологии проникают во все сферы современной жизни и влияют на то как мы работаем, передвигаемся, учимся, получаем услуги, ведем домашнее хозяйство, развлекаемся и прочее. С каждым годом цифровые технологии становятся все более доступными, связанными между собой, они становятся быстрее, дешевле и мобильнее. В 2019 г. более 4 миллиардов человек, или более половины населения мира, пользуются Интернетом (2001 г. - 500 млн.). В России по данным Mediascope, в 2019 г. общая аудитория Интернета (пользователи в возрасте 12 - 64 лет) составила 109,6 миллионов, а уровень проникновения интернета составил 76% (в 2018 г. – 73%) [1].

Бурный рост использования информационных и коммуникационных технологий в экономике стал возможен благодаря техническому прогрессу и стремительному удешевлению трех компонентов: данные, аналитика и связь. Снижение стоимости сенсоров (более чем на 95 % с 2008 г.) привело к их широкому внедрению, что вызвало рост объема доступных данных и повсеместное распространение цифровой информации. Уменьшение стоимости вычислительных мощностей, развитие «облачных» технологий и «больших данных», прогресс в углубленной аналитике, включая машинное обучение, открывает новые возможности мониторинга, анализа, изучения процессов для получения полезной информации, формирования новых знаний и идей. Удешевление передачи данных через цифровые сети связи при повышении ее скорости, развитие технической возможности установки модулей передачи и обработки данных на датчики, сенсоры и небольшие устройства, а также анализ полученной информации создают условия для мобильного управления промышленными и бытовыми процессами.

В настоящее время цифровые технологии применяются в промышленности для управления технологическими процессами, повышения производительности и безопасности труда; на транспорте для управления светофорами, автоматического сбора платы за проезд, определения местоположения для помощи на дорогах; в жилых и общественных зданиях для учета использования энергоресурсов и автоматического регулирования работы инженерных систем и электроприборов. Появление и распространение таких технологий, как Интернет вещей (IoT) и Интернет услуг (IoS), системы «умный дом» (smart home) и «умный город» (smart city), трансформируют требования к ведению бизнеса, предоставлению услуг, ведению домашнего хозяйства и могут существенно изменить модель экономики и образ жизни людей.

Перспективы использования цифровых технологий в основных секторах экономики и влияния на спрос на энергию. В промышленности применение облачных платформ для обмена информацией конкретного промышленного объекта с его смежниками, поставщиками, потребителями позволяет максимально эффективно использовать активы и

минимизировать затраты энергии на перевозку сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. Использование промышленных роботов и аддитивных технологий¹ может привести к значительной экономии энергии, как на самих промышленных предприятиях, так и у его партнеров за счет улучшения качества продукции, уменьшения времени простоя и непроизводительных затрат, снижения объемов отходов производства [6].

На транспорте цифровые технологии помогают повысить энергоэффективность и снизить затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию [21]. В автомобильном транспорте глобальная система позиционирования (GPS) в режиме реального времени помогает правильному выбору направления, скорости движения и способствует рационализации потребления энергии автомобилями. В авиационном транспорте анализ больших данных способствует оптимизации планирования маршрутов, помогает пилотам принимать решения в полете и сокращать расход топлива. В морском транспорте улучшение связи между судами и портами позволяет выбрать оптимальную скорость судна в соответствии с требованиями времени прибытия в порт, что обеспечивает значительную экономию топлива. На железнодорожном транспорте датчики температуры двигателя и вибрации рельсового полотна позволяют контролировать условия эксплуатации подвижного состава, уже существуют полностью автоматизированные поезда.

Самые революционные преобразования прогнозируются в автомобильном транспорте, где повсеместное распространение автоматизации, коммуникационных технологий, сервисов кашеринга², наряду с дальнейшей электрификацией могут полностью изменить саму систему его организации. При этом по мнению специалистов [19], в долгосрочной перспективе использование энергии на автомобильном транспорте может как сократиться примерно в два раза, так и увеличиться на эту же величину в зависимости от масштабов внедрения технологий, их взаимодействия, поведения населения и политики государства.

Цифровые технологии предоставляют новые возможности для улучшения энергоснабжения, повышения комфорта, снижения общего потребления энергии в жилых и коммерческих зданиях. Системы активного управления собирают, обрабатывают и анализируют данные в режиме реального времени и позволяют управлять энергопотребляющими процессами с помощью единой интерфейсной панели (например, смартфона или планшета). Согласно прогнозу международного энергетического агентства (МЭА) [19], повышение эксплуатационной эффективности зданий с использованием данных в реальном времени может снизить общее потребление энергии в период 2017-2040 гг. на 10%. В первую очередь, это касается процессов отопления и кондиционирования, где благодаря использованию датчиков и интеллектуальных термостатов [26] потенциальная экономия энергии может составить от 15% до 50% (в зависимости от типа здания и системы управления). Интеллектуальное освещение [23], состоящее из высокопроизводительных светодиодов, подключенных к системам управления зданием позволяет анализировать предпочтения пользователей, освещенность, режим эксплуатации здания и дает возможность обеспечить более высокое качество освещения при существенной экономии энергии. По оценкам МЭА, интеллектуальное освещение может сэкономить почти 14% от общего

¹ Аддитивное производство (от [англ.](#) Additive Manufacturing) или 3D-печать — группа технологических методов производства изделий и прототипов, основанная на поэтапном формировании изделия путём добавления материала на основу (платформу или заготовку).

² Каршеринг ([англ.](#) carsharing) - вид аренды автомобилей чаще всего для внутригородских и/или коротких поездок. Является одним из глобальных направлений развития экономики совместного пользования.

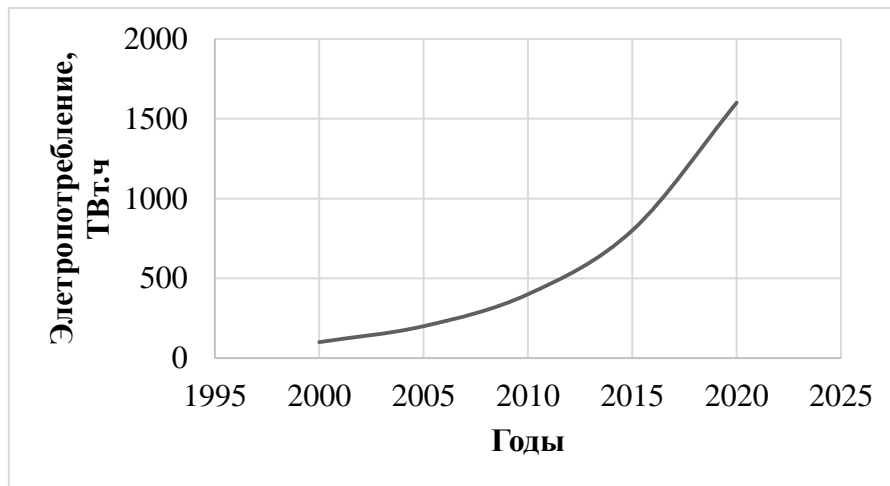
конечного потребления энергии на цели освещения в период 2017-2040 гг., в дополнение к экономии, которая уже привнесена широким распространением самих светодиодов. Более трех четвертей дополнительной экономии за счет интеллектуального освещения приходится на коммерческие здания.

Применение цифровых технологий в отдельных отраслях может привести к экономии энергии за их пределами [25]. Например, возможность работать удаленно может повлиять на мобильность населения и снизить спрос на услуги транспорта и его энергопотребление, но в то же время может увеличить потребление энергии в зданиях. Электронная коммерция оказывает влияние на расширение грузоперевозок, изменение структуры и площади торговых и складских помещений и может увеличить потребление энергии на транспорте и уменьшить в зданиях. Преимущества аддитивного производства позволяют располагать его практически в любом месте, что может снизить спрос на доставку товаров на большие расстояния и уменьшить энергопотребление на транспорте. Возможности 3D-печати по производству продукции с новыми свойствами или новой формы, качественно меняют характеристики конечных продуктов. Например, некоторые производители самолетов уже применяют его для производства легких авиационных компонентов для снижения расхода топлива. Оценка производства легких металлических добавок в авиационном парке США при различных сценариях до 2050 года показала, что в ближайшем будущем от 9% до 17% от общей типовой массы воздушного судна могут быть заменены более легкими компонентами с 3D-печатью. В сценарии быстрого внедрения выбранных компонентов 3D-печати экономия топлива к 2050 году будет эквивалентна 75% потребления топлива внутренней авиацией США в 2015 году.

Появление и распространение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) породило новый вид деятельности - промышленный майнинг криптовалют. Сегодня одно «рабочее место» для промышленного майнинга криптовалют при производительности от 0,5 до 5 триллионов хэш-операций в секунду потребляет от 12 до 40 кВт.ч в сутки. Самая крупная из известных в России майнинговых ферм потребляет около 40 миллионов кВт.ч в год. Согласно статистике информационно-аналитического центра Digiconomist, на конец 2017 г. энергопотребление сети биткойн достигло 35,77 ТВт.ч. Это больше, чем годовое энергопотребление таких стран, как Дания, Беларусь или Венгрия [7]. На одну транзакцию платежная система Биткойна тратит значительно больше электроэнергии, чем системы электронных карт. Например, в системе Viza на один платеж тратится 10 Вт.ч, в то время как перевод биткойнов требует 150-200 кВт.ч. [8, 11].

Потребление энергии ИКТ. Обратной стороной процесса широкого распространения цифровых технологий и связанным с их применением снижением энергопотребления в отраслях экономики, является рост собственного потребления энергии устройствами ИКТ. Уже сегодня информационные и коммуникационные технологии, включающие центры обработки данных, сети передачи данных и подключенные устройства - стали важным потребителем энергии. За 2007-2012 гг. среднегодовые темпы прироста потребления электроэнергии ИКТ в мире составили примерно 7%, в то время как общего всего 3% [19]. По оценкам, представленным в [17], в настоящее время на долю ИКТ в мире приходится 5-9% общего электропотребления, а к 2030 г. оно может возрасти до 20%, правда без учета потенциальных возможностей в повышении эффективности.

Центры обработки данных (ЦОД) используют энергию для питания как оборудования информационных технологий (серверов, накопителей, сетевых устройств), так и вспомогательной инфраструктуры (например, охлаждающее оборудование). Энергопотребление ЦОД в мире удваивается каждые 5 лет и уже сейчас составляет по разным оценкам 3-5% от общего потребления электроэнергии в мире (рис. 1). В настоящее время вопрос энергоэффективности и возможностей энергосбережения в ЦОД стоит очень остро. Разрабатываются модели (см., например, [16, 20, 27], которые описывают процессы энергопотребления в облачных центрах обработки данных, рассматривая статические и динамические части компонентов облака и показывают, как можно сэкономить до 20% энергопотребления, применяя соответствующие направления оптимизации.



Источник: [13]

Рис. 1. Динамика годового потребления электроэнергии дата-центрами в мире, ТВт.ч

Сети передачи данных передают информацию через стационарные и мобильные сети между двумя или более подключенными устройствами. В 2015 г., по некоторым оценкам, они потребляли 185 ТВт-ч (1% от общего спроса) электроэнергии. Существует большая неопределенность в энергопотреблении сетей передачи данных. По оценкам специалистов, к 2021 году потребление электроэнергии сетей передачи данных может возрасти на 70% или сократиться на 15% в зависимости от будущих тенденций в политике повышения эффективности [19].

Интеллектуальные элементы управления и подключенные устройства, включая простые датчики занятости и фотодатчики, потребляют энергию для поддержания связи даже в режиме ожидания. Например, для интеллектуального освещения оно варьируется от 0,15 Вт до 2,71 Вт на один осветительный прибор. Следовательно, некоторые подключенные лампы могут потреблять больше энергии в год в режиме ожидания, чем при фактическом использовании, что снижает их чистую энергоэффективность более чем наполовину. Устройства активного контроля в мире в 2010 г. в среднем потребляли около 2 кВтч/кв.м. Ожидается, что постоянное их совершенствование и увеличение масштабов применения сократят энергоемкость устройств активного контроля в течение следующих 25 лет вдвое до 1 кВтч/кв.м в год к 2040 г. Прогнозируется, что количество подключенных устройств IoT вырастет с 8,4 млрд в 2017 г. до более 20 млрд уже к 2020 г. [19].

Использование цифровых технологий стирает грань между традиционными поставщиками и потребителями энергоресурсов и создает возможности для потребителей из

всех секторов спроса напрямую участвовать в работе энергосистемы, балансируя спрос и предложение в режиме реального времени [14]. Это обеспечивается, в первую очередь, появлением способности изменять свое энергопотребление в зависимости от ситуации в энергосистеме (demand responds), увеличением доли потребителей-«просьюмеров³», имеющих собственные источники производства или источники для хранения энергии (distributed energy resource), внедрением «умной зарядки» электромобилей, которая переключает спрос в непииковые периоды (экономия инвестиции в новую электроэнергетическую инфраструктуру), применением новых инструментов (blockchain) для облегчения локальной системы торговли энергией [28].

Применение цифровых технологий в электроэнергетике ведет к смене всей бизнес-модели отрасли – уже появился термин Интернет энергии (Internet of Energy, IoE). Его характерными чертами являются:

- производство электроэнергии становится распределенным,
- потоки электроэнергии становятся двунаправленными,
- участниками нового рынка электроэнергии становятся «вещи»,
- энергия мобильна и доступна в любой точке, как мобильный Интернет.

Выводы. Цифровые технологии уже сегодня используются во всех сферах экономики и повседневной жизни людей. Расширение их использования в перспективе меняет организационно-экономическую бизнес-модель производства и предоставления услуг, способствуя снижению всех видов затрат. В будущем сами продукты производства превратятся в математические модели, которые могут быть воспроизведены в любой точке мира на 3D принтере. Однако, при этом возникает резкий рост потребности в вычислительных мощностях, поскольку любое производство будет в первую очередь зависеть от производительности обработки информации. Это означает, что практически любое производство становится энергоемким, так как вычислительные мощности требуют энергии. ИКТ становятся важным потребителем энергии. Создание крупных центров обработки данных и увеличение пропускной способности телекоммуникаций потребуют роста энерговооруженности и строительства новых энергоблоков. Перспективные объемы энергопотребления будут определяться ростом спроса на данные и повышением эффективности нового оборудования. Насколько значительно они повлияют на перспективный спрос на энергию, будет зависеть от политики государства, стиля жизни населения, технологического прогресса.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта государственного задания III.17.5.2, рег. № АААА-А17-117030310452-7 СО РАН и при частичной финансовой поддержке РФФИ (проектов №17-06-00102 и № 18-010-00176)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вся статистика интернета на 2019 год – в мире и в России. Режим доступа: <https://www.web-canape.ru/business/vsya-statistika-interneta-na-2019-god-v-mire-i-v-rossii/> (дата обращения 18.11.2019).

³ Просьюмер (от англ. producer + consumer)

2. Гальперова Е.В. Методический подход к долгосрочному прогнозированию рыночного спроса на топливо и энергию с учетом региональных особенностей и роста неопределенности // Изв. РАН. Энергетика. 2016. № 5. С. 33–44.
3. Гальперова Е.В. Использование стенда моделей для долгосрочного прогнозирования рыночного спроса на энергоносители // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. № 4-2. С. 17–27.
4. Гальперова Е.В. Методический инструментарий для долгосрочного прогнозирования спроса на энергоносители для разных временных стадий исследований // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. №3(7). С. 22–34.
5. Гальперова Е.В., Гальперов В.И., Локтионов В.И., Макагонова Н.Н. Применение интеллектуальных методов для моделирования влияния новых факторов в развитии энергетики на спрос на электроэнергию // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 1 (13). С. 16–29. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-1-02.
6. Использование информационно-коммуникационных технологий в области энергопотребления. Режим доступа: <http://www.pomoshelektrikam.ru/ppppppppppppp/2019-01-01/ispolzovanie-informatcionno-kommunikatcionnykh-tekhnologiy-v-obl> (дата обращения: 2.12.2019).
7. Катасонов В. Паразиты и проходимцы цифрового мира. Режим доступа: <https://svpressa.ru/economy/article/215645/> (дата обращения: 18.11.2019).
8. На майнинг одного биткойна уходит энергии, как на целый дом за месяц. Режим доступа: <https://hightech.fm/2017/10/17/bitcoin-trade-electricity> (дата обращения: 18.11.2019).
9. Немного об энергетических технологиях и ИТ. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/it-grad/blog/310626> (дата обращения: 2.12.2019).
10. Орлов С. Энергосберегающие технологии в ИТ-инфраструктуре предприятий. Режим доступа: <https://www.osp.ru/lan/2015/04/13045690> (дата обращения: 2.12.2019).
11. Сколько электроэнергии требуется на одну транзакцию биткойна? Режим доступа: <https://bits.media/skolko-elektroenergii-trebuetsya-na-odnu-tranzaktsiyu-bitkoina/> (дата обращения: 18.11.2019).
12. Филиппов С.П. Новая технологическая революция и требования к энергетике. Форсайт. - Т. 12. - № 4. - 2018. - с. 20–33
13. Царев И. PUE как критерий качества и энергоэффективности ЦОД. Режим доступа: http://dcforum.ru/sites/default/files/12.10--12.30_pue_kak_kriteriy_kachestva.pdf (дата обращения: 19.11.2019).
14. Цифровизация энергетики. Минэнерго РФ. 2019. Режим доступа: https://minenergo.gov.ru/energynet/docs/Цифровая_энергетика.pdf (дата обращения: 18.11.2019).
15. Энергосбережение в компьютерном мире. Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/890> (дата обращения: 3.12.2019).

16. Awada Uchechukwu, Keqiu Li, Yanming Shen. Energy Consumption in Cloud Computing Data Centers // International Journal of Cloud Computing and Services Science (IJ-CLOSER). Vol.3. No.3. June 2014.
17. Between 10 and 20% of electricity consumption from the ICT* sector in 2030? Режим доступа: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/expected-world-energy-consumption-increase-from-digitalization.html> (дата обращения: 21.11.2019).
18. Brahmanand Mohanty. (2001) Standby Power Losses in Household Electrical Appliances and Office Equipment. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/242124523> (дата обращения: 2.12.2019).
19. Digitalization & Energy. International Energy Agency OECD/IEA. 2017. 188 p.
20. Dzmitry Kliazovich, Pascal Bouvry, Fabrizio Granelli, Nelson L.S. da Fonseca. Energy Consumption Optimization in Cloud Data Centers. Режим доступа: <https://orbilu.uni.lu/bitstream/10993/18275/1/energy-management.pdf> (дата обращения: 20.11. 2019).
21. International Energy Agency (2017a). The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment. OECD/IEA. Paris.
22. Gal'perova E.V., Gal'perov V.I. Modeling the Active Consumer Behavior Based on the Agent Approach // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) DOI: 10.1109/RPC.2018.8482157.
23. Kofod, C. (2016). Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption. First Status Report. IEA 4E Solid State Lighting Annex Task 7. Режим доступа: http://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL_Annex_Task_7_-_First_Report_-_6_Sept_2016.pdf. (дата обращения: 2.12.2019).
24. Lance Bishop. 4 Ways to Reduce Energy Consumption in Any Data Center. Режим доступа: <https://blog.se.com/datacenter/2013/02/01/4-ways-to-reduce-energy-consumption-in-any-data-center/> (дата обращения: 19.11.2019).
25. Nathaniel C Horner, Arman Shehabi and Inês L Azevedo. Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology // Environ. Res. Lett. 11 (2016) 103001
26. Nest (2015). “Energy Savings from the Next Learning Thermostat: Energy Bill Analysis Results”. Nest Labs, February 2015. Режим доступа: <http://downloads.nest.com/press/documents/energy-savings-whitepaper.pdf>. (дата обращения: 2.12.2019).
27. Olusogo Popoola, Bernardi Pranggono. On energy consumption of switch-centric data center networks // The Journal of Supercomputing. January 2018. Volume 74. Issue 1. Pp. 334–369.
28. The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge. Режим доступа: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf (дата обращения: 21.11.2019).

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN ECONOMIC SECTORS AND THE IMPACT ON ENERGY CONSUMPTION

Elena V. Galperova

PhD., Associate Professor, Senior Researcher. Department of energy security

e-mail: galper@isem.irk.ru

Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Abstract. Long-term forecasting of energy demand is an important fundamental part of research in the development and adoption of strategic decisions in the field of energy and economic security. An integral part of the methodology for long-term forecasting of energy consumption is the identification, analysis and study of the influence on the volume and structure of energy demand a factors and relationships in the energy sector and the economy. The use of digital technologies related to monitoring, obtaining, processing large amounts of data in all areas of the economy and people's lives today already consumes more than 5% of the world's electricity and its further growth is expected. The article analyzes use perspective the main digital technologies in different sectors of the economy. We present estimates of their influence on the different energy demand carriers. There is great uncertainty in estimates of prospective energy consumption, depending on possible government policies, changes in the lifestyle, the speed of development and implementation of technical innovations.

Key words: energy consumption, energy efficiency, energy saving, digital technologies, data center, connected devices.

Acknowledgments. The article is supported by state task III.17.5.2, № AAAA-A17-117030310452-7 SB RAS and the Russian Foundation for Basic Research (project №17-06-00102 and № 18-010-00176)

References

1. Vsyā statistika interneta na 2019 god – v mire i v Rossii [All Internet statistics for 2019 are in the world and in Russia]. Available at: <https://www.web-canape.ru/business/vsya-statistika-interneta-na-2019-god-v-mire-i-v-rossii/> (accessed 18.11.2019). (in Russian)
2. Galperova E.V. Metodicheskij podhod k dolgosrochnomu prognozirovaniyu rynochnogo sprosa na toplivo i energiyu s uchetom regional'nyh osobennostej i rosta neopredelennosti [Methodological approach for long-term forecasting of market fuel and energy demand, taking into account regional characteristics and growing uncertainty] // Izvestiya RAN, Energetika = Bulletin of RAS. Energy Series. 2016. No 5. Pp. 33–44. (in Russian)
3. Gal'perova Elena V. Ispol'zovanie stenda modelej dlya dolgosrochnogo prognozirovaniya rynochnogo sprosa na energonositeli [Set of models for long-term forecasting of market energy demand] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Informational and mathematical technologies in science and management. 2016. No 4-2. Pp. 17–27. (in Russian).

4. Gal'perova Elena V. Metodicheskij instrumentarij dlya dolgosrochnogo prognozirovaniya sprosa na energonositeli dlya raznyh vremennyh stadij issledovanij [Methodical tool for different time stages for long-term forecasting of energy demand] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Informational and mathematical technologies in science and management. 2017. No 3 (7). Pp. 22–34. (in Russian)
5. Galperova Elena V., Galperov Vasilij I., Loktionov Vadim I., Makagonova Nadezhda N. Primenenie intellektual'nyh metodov dlya modelirovaniya vliyaniya novyh faktorov v razvitii energetiki na spros na elektroenergiyu [Application of intellectual methods for modeling of the influence of new factors of energy sector development on electricity demand] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Informational and mathematical technologies in science and management. 2019. No 1 (13). Pp. 16–29. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-1-02. (in Russian)
6. Ispol'zovanie informacionno-kommunikacionnyh tekhnologij v oblasti energopotrebleniya [The use of information and communication technologies in the field of energy consumption]. Available at: <http://www.pomoshelektrikam.ru/pppppppppppppp/2019-01-01/ispolzovanie-informatcionno-kommunikatcionnykh-tekhnologiy-v-obl> (accessed 2.12.2019). (in Russian)
7. Katasonov V. Parazity i prohodimcy cifrovogo mira [Parasites and rogues of the digital world]. Available at: <https://svpressa.ru/economy/article/215645/> (accessed 18.11.2019). (in Russian)
8. Na majning odnogo bitkojna uhodit energii, kak na celyj dom za mesyac [It takes energy to mine one bitcoin, like a whole house in a month]. Available at: <https://hightech.fm/2017/10/17/bitcoin-trade-electricity> (accessed 18.11.2019) (in Russian)
9. Nemnogo ob energeticheskikh tekhnologiyah i IT [A bit about energy technology and IT]. Available at: <https://habr.com/ru/company/it-grad/blog/310626> (accessed 2.12.2019). (in Russian)
10. Orlov S. Energoberegayushchie tekhnologii v IT-infrastrukture predpriyatij [Energy-saving technologies in enterprise IT infrastructure]. Available at: <https://www.osp.ru/lan/2015/04/13045690> (accessed: 2.12.2019) (in Russian)
11. Skolko elektroenergii trebuetsya na odnu tranzaktsiyu bitkoina? [How much electricity is required per bitcoin transaction?]. Available at: <https://bits.media/skolko-elektroenergii-trebuetsya-na-odnu-tranzaktsiyu-bitkoina/> (accessed 18.11.2019) (in Russian)
12. Filippov S.P. Novaya tekhnologicheskaya revolyuciya i trebovaniya k energetike [New technological revolution and energy requirements] // Forsajt = Foresight. 2018. V. 12. No 4. Pp. 20–33. (in Russian)
13. Carev I. PUE kak kriterij kachestva i energoeffektivnosti COD [PUE as a criterion for data center quality and energy efficiency]. Available at: http://dcforum.ru/sites/default/files/12.10--12.30_pue_kak_kriteriy_kachestva.pdf (accessed 19.11.2019). (in Russian)
14. Cifrovizaciya energetiki. Minenergo RF [Digitalization of energy. Ministry of Energy of the Russian Federation]. Available at: https://minenergo.gov.ru/energynet/docs/Цифровая_энергетика.pdf (accessed: 18.11.2019). (in Russian)
15. Energoberezhenie v komp'yuternom mire [Energy Saving in the Computer World]. Available at: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/890> (accessed 3.12.2019). (in Russian)

16. Awada Uchechukwu, Keqiu Li, Yanming Shen. Energy Consumption in Cloud Computing Data Centers // International Journal of Cloud Computing and Services Science (IJ-CLOSER). Vol.3. No.3. June 2014.
17. Between 10 and 20% of electricity consumption from the ICT* sector in 2030? Available at: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/expected-world-energy-consumption-increase-from-digitalization.html> (accessed 21.11.2019).
18. Brahmanand Mohanty. (2001) Standby Power Losses in Household Electrical Appliances and Office Equipment. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/242124523> (accessed 2.12.2019).
19. Digitalization & Energy. International Energy Agency OECD/IEA. 2017. 188 p.
20. Dzmitry Kliazovich, Pascal Bouvry, Fabrizio Granelli, Nelson L.S. da Fonseca. Energy Consumption Optimization in Cloud Data Centers. Available at: <https://orbilu.uni.lu/bitstream/10993/18275/1/energy-management.pdf> (accessed 20.11. 2019).
21. International Energy Agency (2017a). The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment. OECD/IEA. Paris.
22. Gal'perova E.V., Gal'perov V.I. Modeling the Active Consumer Behavior Based on the Agent Approach // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) DOI: 10.1109/RPC.2018.8482157.
23. Kofod, C. (2016). Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption. First Status Report. IEA 4E Solid State Lighting Annex Task 7. Available at: http://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL_Annex_Task_7_-_First_Report_-_6_Sept_2016.pdf. (accessed 2.12.2019).
24. Lance Bishop. 4 Ways to Reduce Energy Consumption in Any Data Center. Режим доступа: <https://blog.se.com/datacenter/2013/02/01/4-ways-to-reduce-energy-consumption-in-any-data-center/> (accessed 19.11.2019).
25. Nathaniel C Horner, Arman Shehabi and Inês L Azevedo. Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology // Environ. Res. Lett. 11 (2016) 103001
26. Nest (2015). “Energy Savings from the Next Learning Thermostat: Energy Bill Analysis Results”. Nest Labs, February 2015. Available at: <http://downloads.nest.com/press/documents/energy-savings-whitepaper.pdf>. (accessed 2.12.2019).
27. Olusogo Popoola, Bernardi Pranggono. On energy consumption of switch-centric data center networks // The Journal of Supercomputing. January 2018. Volume 74. Issue 1. Pp. 334–369.
28. The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf (accessed 21.11.2019).