

Научная статья

УДК 004.67

DOI: 10.17213/2075-2067-2023-1-131-137

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Михаил Михайлович Куликов^{1✉}, Максим Александрович Индюков²

1, 2Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М. И. Платова, Новочеркасск, Россия

¹kulikovmichael@mail.ru[✉], ORCID: 0000-0002-4139-9391,

AuthorID РИНЦ: 360563, AuthorID Scopus: 57209222679

²indukoff.maksim.russia@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является изучение применения технологии Big Data в электроэнергетике.

Методологическую базу исследования представляют научные публикации, статьи научных журналов, информация о продуктах компаний, предоставляющих услуги в исследуемой области. Собранная информация позволяет изучить применяемые в электроэнергетической отрасли цифровые технологии и результаты от их внедрения.

Результаты исследования. В работе рассматривается технология обработки больших данных (Big Data), ее техники и технологии, применяемые в электроэнергетике. Представлены характеристики умных сетей энергоснабжения, ключевые требования к интеллектуальной электроэнергетической системе, системы обработки данных в интеллектуальных энергосистемах, системы управления энергопотреблением, особенности функционирования виртуальных электростанций, специфика управления в сетях с накопителями энергии. Особое внимание уделено применению в электроэнергетике интеллектуальной электрической сети (Smart grid), которая осуществляет связь между всеми участниками энергетического рынка, с целью предоставления энергетических услуг, снижения затрат и повышения эффективности; системы управления энергопотреблением, задача которой состоит в организации процессов физического уменьшения потребления мощности в интервалы времени повышенной цены на электроэнергию; виртуальной электростанции — система, объединяющая электроэнергию сразу от нескольких источников.

Перспективу исследования составляет углубленный анализ факторов, влияющих на распространение цифровых технологий на предприятиях электроэнергетики, а также исследование результата их внедрения.

Ключевые слова: Big Data, большие данные, электроэнергетика

Для цитирования: Куликов М. М., Индюков М. А. Перспективы применения технологии Big Data в электроэнергетике // Вестник Южно-Российского государственного технического университета. Серия: Социально-экономические науки. 2023. Т. 16, № 1. С. 131–137. <http://dx.doi.org/10.17213/2075-2067-2023-1-131-137>.

Original article

PROSPECTS OF USE OF BIG DATA TECHNOLOGY IN THE POWER INDUSTRY

Mikhail M. Kulikov¹✉, Maxim A. Indukov²

^{1,2}Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

¹kulikovmichael@mail.ru✉, ORCID: 0000-0002-4139-9391,

AuthorID RSCI: 360563, AuthorID Scopus: 57209222679

²indukoff.maksim.russia@mail.ru

Abstract. *The purpose of the study is to study the application of Big Data technology in the electric power industry.*

The methodological base of the study is represented by scientific publications, articles of scientific journals, information about the products of companies providing services in the area under study. The collected information makes it possible to study the digital technologies used in the electric power industry and the results of their implementation.

Research results. *The paper considers the technology of big data processing (Big Data), its techniques and technologies used in the electric power industry. The characteristics of smart power supply networks, key requirements for an intelligent electric power system, data processing systems in intelligent power systems, energy management systems, features of the functioning of virtual power plants, specifics of management in networks with energy storage are presented. Particular attention is paid to the use in the electric power industry of an intelligent electric grid (Smart grid), which provides communication between all participants of the energy market, in order to provide energy services, reduce costs and increase efficiency; an energy management system, whose task is to organize the processes of physical reduction of power consumption in time intervals of increased electricity prices; a virtual power plant — a system that combines electricity from several sources at once.*

The prospect of the study *is an in-depth analysis of the factors affecting the spread of digital technologies in the electric power industry, as well as a study of the effect of their implementation.*

Keywords: Big Data, power industry

For citation: Kulikov M. M., Indukov M. A. Prospects of use of Big Data technology in the power industry // Bulletin of the South Russian State Technical University. Series: Socio-economic Sciences. 2023; 16(1): 131–137. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17213/2075-2067-2023-1-131-137>.

Введение. Большие данные (Big Data) — обозначение огромных объемов неструктурированных и структурированных данных, обрабатываемых методами и инструментами, объединяющих техники и технологии, их результатом является получение информации, которая уже может быть обработана человеком [1].

У технологии Big Data выделяют три главные характеристики (три V): объём (Volume), скорость (Velocity), многообразие

(Variety). Объём данных здесь является самой главной характеристикой.

Повышение важности больших данных подтверждается статистикой: в 2012 году в мире было создано 2 зеттабайта (2000 миллиардов гигабайт) данных, а в 2020 году — более 35 зеттабайт. Объём глобального рынка Big Data сегодня аналитики оценивают 168,8 миллиардов долларов¹. Объём рынка Big Data в нашей стране составляет 45 мил-

¹ Preimesberger Ch. Hadoop, Yahoo, 'Big Data' Brighten BI Future. [Electronic resource] // EWeek. URL: <http://www.eweek.com/storage/hadoop-yahoo-big-data-brighten-bi-future> (date accessed: 10.10.2022).

лиардов рублей (данные на конец 2019 года) с темпом роста 112% с 2014 года. Внутри-российскими лидерами по использованию больших данных являются сфера розничной торговли, банки и телекоммуникации. Более 55% российских компаний выделяют бюджеты на развитие технологий Big Data.

Техники больших данных. Техника — способ или процедура выполнения задачи. Техники, которые используют большие данные: консолидация, визуализация, машинное обучение, нейронные сети, регрессионный анализ, классификация.

Консолидация — набор методов, предназначенных для сбора данных, лежащих в разных источниках, придания этим данным структурированной формы, преобразования в единый формат с целью загрузки в хранилище данных и дальнейшей работы с ними.

Виртуализация — способ управления, извлечения и управления данными без необходимости показывать технические аспекты их хранения. Задачей виртуализации является отображение данных из хранилища без копирования и перемещения².

Машинное обучение — класс методов искусственного интеллекта, направленных на нахождение решения проблемы не прямым решением задачи, а обучением программы решением схожих задач.

Искусственная нейронная сеть — математическая модель, чья архитектура реализована по аналогу биологических нейронных сетей. При этом считается, что у искусственных и биологических нейронных сетей гораздо меньше общего, чем кажется, но искусственные нейронные сети при этом находят всё большее применение в различных сферах деятельности³.

Регрессионный анализ — это набор методов для оценки отношений между переменными. Он используется для нахождения взаимосвязи между переменными. Регрессионные методы позволяют моделировать

зависимости между переменными, а также показывают, что при изменении независимых переменных можно фиксировать изменение зависимой переменной⁴.

Классификация больших данных — это распределение объектов исследования по классам на основании сходства признаков. Классификация отличается от кластеризации тем, что распределение объектов происходит по заранее известным классам.

Отсутствует юридическое определение Big Data (в сравнении с персональными данными гражданина, например). Большие данные — технологическое понятие, описания в технологических стандартах достаточно для того, чтобы развивать технологию больших данных. Непонимание разницы между деперсонифицированными обезличенными большими данными и персональными данными граждан создает им негативный имидж у граждан и органов власти (разницу между персональными данными и большими данными не понимают 82% россиян).

Технологии больших данных. Технология больших данных — результат приложения достижений науки к промышленным или коммерческим целям [2]:

— Apache Hadoop — открытый программный комплекс для работы с огромными объемами данных, включая программную реализацию MapReduce;

— R — язык программирования, предназначенный для статистической обработки информации и работы с графикой.

Apache Hadoop — это набор утилит и библиотек для разработки программ. Они могут работать как на отдельных серверах, так и на кластерах, включающих сотни и тысячи узлов. Эта технология для хранения и обработки больших данных была разработана на Java-рамках вычислительной парадигмы MapReduce⁵.

² Виртуализация // [Что такое виртуализация? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/definition/data-virtualization> (дата обращения: 10.10.2022).

³ Шпаргалка по разновидностям нейронных сетей. Часть первая. Элементарные конфигурации. 03.10.2016. [Электронный ресурс]. URL: <http://tproger.ru/translations/neural-network-zoo-1> (дата обращения: 10.10.2022).

⁴ Что такое регрессионный анализ. [Электронный ресурс]. URL: <https://vc.ru/u/425321-sf-education/224225-chto-takoe-regressionnyy-analiz> (дата обращения: 10.10.2022).

⁵ Что такое Hadoop, где и для чего используется [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/hadoop> (дата обращения: 10.10.2022).

Язык программирования R — это язык и среда для статистических вычислений и проектирования. Язык разработали учёные факультета статистики Оклендского университета. Сначала это был внутренний инструмент, но затем он стал общедоступным⁶.

Интеллектуальная электроэнергетика. На базе глобального внедрения инноваций разрабатываются новые механизмы повышения интеллектуальности электроэнергетики. Интеллектуальность в данном контексте понимается как способность системы под воздействием внешней среды функционировать при помощи адаптации с помощью эвристических алгоритмов⁷. Важная задача в рамках внедрения технологии Big Data — эффективный и безопасный обмен данными в рамках отрасли. Обмен и накопление данных необходимы, но при этом важно не допустить утечки информации, являющейся коммерческой тайной.

Интеллектуальная электроэнергетика — высокоавтоматизированная система управления, объединяющая производителей и потребителей электрической энергии и обеспечивающая единство режимов работы электро/энергоустановок с требуемым качеством надежности и энергетических ресурсов.

Ключевые ценности (требования) к интеллектуальной электроэнергетической системе:

— надежность — обеспечение бесперебойного энергоснабжения потребителей, противостояния различным возмущениям, вызванным отказами элементов энергосистемы, и максимально быстрого восстановления функций после их нарушения;

— эффективность — использование ресурсов с максимальной пользой для всей производственной цепочки;

— безопасность — предотвращение опасных для людей ситуаций, устойчивость к вмешательству в работу системы (физического и/или кибернетического);

— гибкость — возможность адаптации под влиянием различных факторов;

— доступность — обеспечение потребителей качественной электроэнергией.

Системы обработки данных в интеллектуальных энергосистемах. Системы обработки данных в энергосетях связаны с многочисленными приборами учета энергии: потребительские, промышленные, АСКУЭ (автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии). Кроме этого, в ее состав входят различные датчики на оборудовании энергосети. Из-за того, что данных становится больше, увеличивается их разнообразие, повышаются требования к их оперативной и целостной обработке, компьютерные системы, в которых реализовываются новые функции для работы в энергосистемах, относятся к категории Больших данных. Soft Grid — термин, используемый в отношении таких технологий и систем для обработки данных в Smart Grid.

Smart Grid (умная сеть электроснабжения) — интеллектуальная электросеть, которая связывает всех субъектов рынка энергетики и направлена на повышение эффективности и снижение затрат, а также включение новых источников энергии, в том числе возобновляемых. Они работают по принципу интерактивной двусторонней связи между производителями и потребителями, определяя текущие возможности производства и потребления энергии. Эти сети работают в режиме реального времени, благодаря чему способны оперативно регулировать производство и потребление электроэнергии.

Еще одно определение интеллектуальных электроэнергетических сетей — это системы, использующие технологии обработки информации и управления, распределенную обработку данных и связанные с ними датчики и средства управления для интеграции поведения и действий пользователей и других заинтересованных сторон, а также для эффективного обеспечения устойчивого, экономичного и надежного электроснабжения. Среди разработчиков есть гиганты IT-технологий, а есть и только начинающие стартапы, что создает атмосферу здоровой конкуренции в различных отраслях — в среде корпоративного управления энергосистемами и управле-

6 R: The R Project for statistical Computing [Электронный ресурс]. URL: <https://www.r-project.org/> (дата обращения: 10.10.2022);

7 10 Year Network Development Plan // European Network of Transmission System Operators for Electricity. ENTSO-E, 2014. 493 p.

ния оборудованием или коммерческого учета электроэнергии. Этот рынок привлекателен не только для разработчиков, но и для инвесторов. К 2021 году, по прогнозам, инвестиционный потенциал аналитики на сетях составит 600 млрд руб, а аналитики для клиентов — 500 млрд руб. Срок окупаемости инвестиций составит 3 года, а рентабельность (return on investment, ROI) — 35 %.

Характеристики умных сетей электропитания:

— автоматизация. Такая система состоит из многих систем (мониторинг, управление, отслеживающие датчики и восстановление после аварий);

— интеграция клиентов. Снабжение потребителей интеллектуальными счетчиками обмена информации в реальном времени с целью регулирования тарифов в соответствии с нагрузкой сети. Это способствует более эффективному потреблению;

— адаптация к различным способам производства электроэнергии. Начало развития интеллектуальных сетей совпало с подключением к распределительной системе более мелких источников электроэнергии, например, солнечные и ветряные электростанции, газовые микротурбины и другие, позволяющие потребителям самим вырабатывать электроэнергию продавать ее излишки в сеть. Мощность солнечных и ветряных электростанций сложно предсказать, однако нехватку энергии от них можно компенсировать за счет электростанций, использующих традиционные виды топлива, благодаря интеллектуальным сетям, которые регулярно отправляют информацию о потреблении электроэнергии⁸.

Системы управления энергопотреблением. Системы управления энергопотреблением (EMS) — это системы, которые позволяют оптимизировать работы системам генерации, накопления, передачи и потребления электроэнергии. Благодаря методу сглаживания пиковых нагрузок, используемому EMS, можно существенно повысить экономическую эффективность. Такие системы нашли

свое применение в разных сферах: недвижимость, производство, городское хозяйство.

EMS Schneider Electric⁹ — система, разработанная французской компанией, объединяющая в себе несколько различных систем: система управления энергией (EMS), система управления аварийными отключениями (OMS), система управления распределительными сетями (DMS). В России сейчас разрабатывается подобная система.

EMS Schneider Electric способна оценить состояние нагрузки, чтобы оптимизировать перенаправления мощности. Система также определяет показатели производительности и стабильность напряжения. Это позволит пользователям улучшить эксплуатацию, оптимизацию и обслуживание сети.

Функции EMS Schneider Electric:

- компенсация скачков напряжения;
- сглаживание пиков нагрузки;
- анализ аварийных ситуаций;
- оптимизация времени включения оборудования;
- использование накопителей энергии и собственных ВИЭ.

Особенности функционирования виртуальных электростанций. Виртуальная электростанция (далее ВЭС) — это высокотехнологическая система, которая объединяет электроэнергию от нескольких источников (генераторов, ВИЭ, объектов распределенной генерации и т.п.) для более надежного снабжения электропотребителей. ВЭС способна сбалансировать всю энергетическую систему — регулировать пиковые нагрузки и выработку ВИЭ.

ВЭС может функционировать по трем моделям:

- агрегированная — потребители подключаются к ВЭС, которая находится на рынке под видом энергосервисной организации (агрегатора), проводит программы «Управления Потреблением» и выплачивает вознаграждение участникам этих программ;
- традиционная — компания занимается продажей энергетических ресурсов потре-

⁸ Интеллектуальная энергетическая сеть, Smart grid [Электронный ресурс] // Школа для электрика. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/2483-smart-grid-umnaya-set.html> (дата обращения: 10.10.2022).

⁹ Система управления энергопотреблением (EMS) [Электронный ресурс] // Schneider Electric Россия. URL: <https://www.se.com/ru/ru/work/solutions/for-business/electric-utilities/energy-management-system-ems/> (дата обращения: 10.10.2022).

бителям, образуя сеть, в которой находятся различные объекты генерации;

— клиентоориентированная — потребители устанавливают технологию ВЭС с целью управлять самим потреблением. Например, в США компания WalMart использует такую систему для управления своими энергоприемниками, кондиционерами, освещением, холодильниками и т.д.¹⁰. Аналогичные системы планируются к использованию и в России.

Специфика управления в сетях с накопителями энергии. На данный момент в электросети входят элементы, которые ранее были редкими, требующие особого подхода к проектированию сети и эксплуатации. К таким элементам прежде всего относятся накопители электроэнергии. На сегодняшний день у потребителей появилось большое разнообразие накопителей электрической энергии. Актуальными стали вопросы, которые касаются как владельцев этих устройств (в первую очередь вопрос возврата инвестиций для этих недешевых устройств), так и электросети в целом, а именно влияния новых устройств на работу сети. Работники из Electric Power Research Institute (EPRI) решали достаточно сложную задачу моделирования системного влияния накопителей на работу сети. В результате им удалось создать программный инструмент Energy Storage Valuation Tool (ESVT)¹¹. Он способен обработать данные о такой сети и дать ценную информацию для энергокомпаний, производителей накопителей, проектировщиков сетей и т.п.

Заключение. Внедрение и использование технологии Big Data на всех этапах электроэнергетического цикла — от генерации до конечного потребителя (в первую очередь в части спроса и потребления) — способно зна-

чительно увеличить доходность и повысить вклад отрасли в ВВП до 1,3%. Для решения задач по обработке большого количества информации в энергетике используются инструменты из сферы Big Data. Для электроэнергетики уже разработана интеллектуальная электрическая сеть (Smart grid), которая осуществляет связь между всеми участниками энергетического рынка с целью предоставления энергетических услуг, снижения затрат и повышения эффективности; система управления энергопотреблением, задача которой состоит в организации процессов потребления таким образом, чтобы уменьшить потребление в периоды повышения цены на электроэнергию; виртуальная электростанция — высокотехнологическая система, которая объединяет электроэнергию от нескольких источников.

Список источников

1. Макшанов А. В., Тындыкарь Л. Н., Журавлев А. Е. Большие данные. Big Data. Учебник для вузов. М.: Лань, 2022. 185 с.
2. Марц Н., Уоррен Д. Большие данные. Принципы и практика построения масштабируемых систем обработки данных в реальном времени. М.: Вильямс, 2018. 368 с.

References

1. Makshanov A. V., Tyndykar' L. N., Zhuravlev A. E. Bol'shie dannye. Big Data. Uchebnik dlja vuzov [Big data. Big Data. Textbook for universities]. Moscow: Lan', 2022. 185 p. (In Russ.).
2. Marc N., Uorren D. Bol'shie dannye. Principy i praktika postroenija masshtabiruemyh sistem obrabotki dannyh v real'nom vremeni [Big data. Principles and practice of building scalable data processing systems in real time]. Moscow: Vil'jams, 2018. 368 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 12.12.2022; одобрена после рецензирования 22.12.2022; принята к публикации 25.12.2022.

The article was submitted on 12.12.2022; approved after reviewing on 22.12.2022; accepted for publication on 25.12.2022.

¹⁰ Виртуальная электростанция — «умный контроль» распределенной генерации [Электронный ресурс] // Камкабель — ваш проводник в мире энергии. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/244/15964.htm> (дата обращения: 10.10.2022).

¹¹ EPRI [Электронный ресурс]. URL: <http://www.epri.com> (Дата обращения: 10.10.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Куликов Михаил Михайлович — кандидат экономических наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Сфера научных интересов — промышленная политика, кластеры в экономике, цифровая трансформация экономики, управление персоналом.

Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Mikhail M. Kulikov — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI). Research interests — industrial policy, clusters in the economy, digital transformation of the economy, personnel management.
132 Prosveshcheniya st., Novocherkassk, Russia



Индюков Максим Александрович — магистрант 2 курса, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.

Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Maxim A. Indukov — 2nd year Master's Student, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI).
132 Prosveshcheniya st., Novocherkassk, Russia

Вклад авторов:

Куликов М.М. — научное руководство; концепция исследования.

Индюков М.А. — написание исходного текста; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Kulikov M.M. — scientific management; research concept.

Indukov M.A. — writing the original text; final conclusions.