

Использование искусственного интеллекта для эффективной трансформации электро- энергетики

Рецензия эксперта на статью получена
02.07.2024 [The expert review of the article
was received on July 2, 2024]

Объём доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобалансе энергосистем стран растёт. Согласно прогнозам BloombergNEF [1], доля ВИЭ в генерации электроэнергии составит от 70 до 81 % (рис. 1), в зависимости от сценария.

Помимо роста доли ВИЭ в энергобалансе, трансформация энергетической отрасли заключается в изменении структуры энергосистемы: на смену традиционным большим электростанциям приходят объекты малой генерации, «умные» сети (smart grid), сети, работающие на основе современных информационных и коммуникационных технологий. Эти технологии постепенно заменяют традиционные электросети. При этом сама трансформация энергетической отрасли совпала с экспоненциальным ростом применения искусственного интеллекта (ИИ) в мире [2].

Увеличение данного рынка прогнозируется с текущих \$ 182 млрд до \$ 826 млрд к 2030 году (рис. 2).

Искусственный интеллект в энергоотрасли

Искусственный интеллект в энергетической отрасли применяется для торговли на рынках электроэнергии, прогнозирования цен на электроэнергию, объёмов её потребления и выработки с помощью

Структура энергосистем необратимо меняется: на смену большим традиционным электростанциям приходят объекты малой генерации, «умные» сети, работающие на основе современных информационных и коммуникационных технологий

технологий, задействующих возобновляемые источники энергии, для работы «умных» сетей, диагностики дефектов энергетического оборудования и др.

Искусственный интеллект в «умных» сетях

«Умная» сеть (smart grid) — это модернизированная сеть приёма, передачи и распределения электрической энергии, характеризующаяся двунаправленным потоком мощности, наличием связей между устройствами, оснащённая системами киберзащиты и автономными системами обнаружения неисправностей и обладающая способностью к самовосстановлению [3]. Примерная схема взаимодействия между компонентами «умной» сети представлена на рис. 3. Ключевые различия между традиционной сетью и «умной» сетью перечислены в табл. 1.

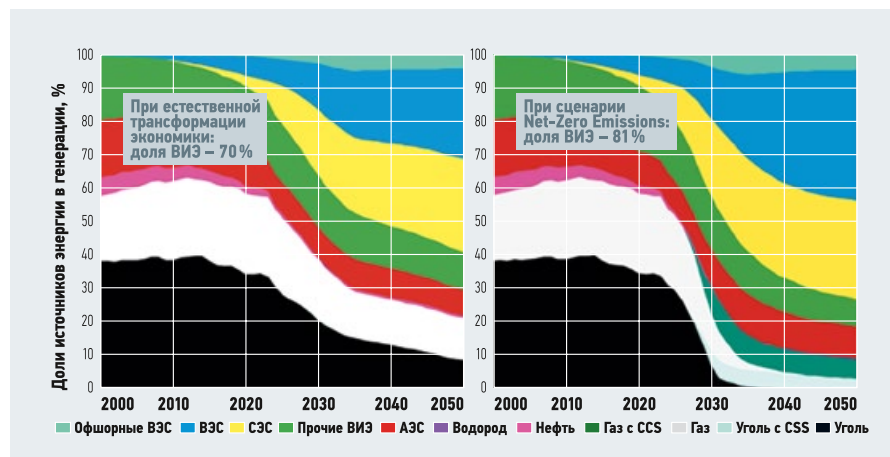


Рис. 1. Производство электроэнергии по различным сценариям

УДК: 620.91. Научная специальность: 2.4.5.

Использование искусственного интеллекта для эффективной трансформации электроэнергетики

А. И. Величко, генеральный директор ООО «Смартрен» (г. Москва); Д. А. Шапиро, директор по развитию, ООО «Смартрен» (г. Москва)

В работе описаны процессы параллельного развития отрасли возобновляемых источников энергии искусственного интеллекта. Обозревается множество конкретных проблем оптимизации в энергетической отрасли, которые возможно решить с применением алгоритмов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, искусственный интеллект, «умные» сети, прогнозирование выработки, дефекты солнечных панелей.

UDC: 620.91. The number of scientific specialty: 2.4.5.

Using artificial intelligence for effective transformation of the electric power industry

A. I. Velichko, general director, "Smartren" LLC (Moscow); D. A. Shapiro, director of development, "Smartren" LLC (Moscow)

The paper describes the processes of parallel development of the renewable energy industry of artificial intelligence. There are many specific optimization problems in the energy industry that can be solved using artificial intelligence algorithms.

Keywords: renewable energy sources, artificial intelligence, smart grids, generation forecasting, defects in solar panels.

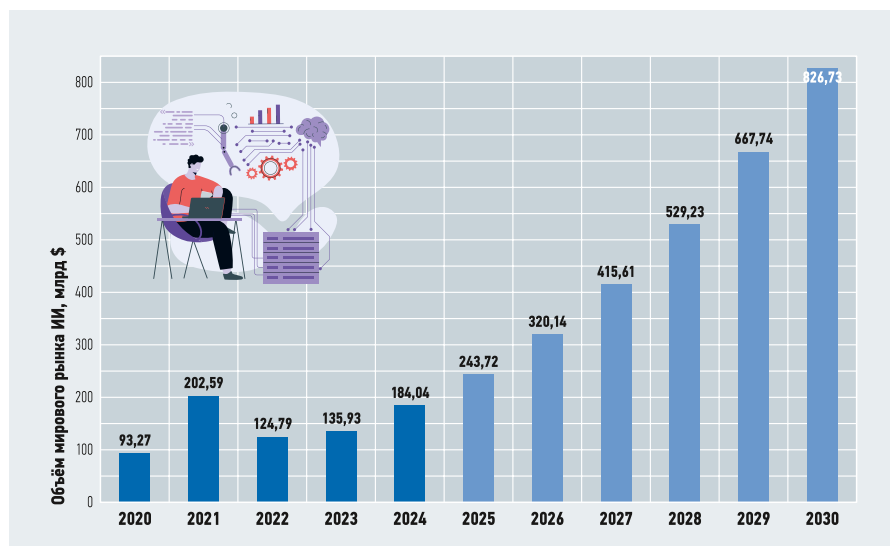


Рис. 2. Объём мирового рынка искусственного интеллекта с прогнозом до 2030 года

За счёт анализа большого объёма данных алгоритмы искусственного интеллекта могут определить паттерны поведения производителей и потребителей электроэнергии, помогать в оптимизации управления энергоресурсами, снижать негативные эффекты от аномального поведения данных производителей и потребителей, а также сбоев в работе непосредственно самой «умной» электросети.

Прогнозирование выработки ВИЭ

Основной особенностью генерации ВИЭ является непостоянство выработки, обусловленная изменчивостью солнечной и ветровой энергии.

Так, скорость ветрового потока, которая является ключевым регрессором в уравнении мощности ветроэнергетической установки (ВЭУ), может значительно изменяться на расстоянии менее 2–3 км, а также способна существенно менять своё значение и направление во временном интервале менее одного часа.

Сложность прогнозирования выработки электроэнергии на солнечных электростанциях (СЭС) обусловлена изменчивостью облачности и переменностью величины «индекса чистого неба» (Clearsky Index, CSI) во времени.

Для прогнозирования выработки ветровых электростанций (ВЭС) возможно использовать алгоритмы как классического машинного обучения, так и глубокого (глубинного) машинного обучения (Deep Learning) вместе с нейронными сетями.

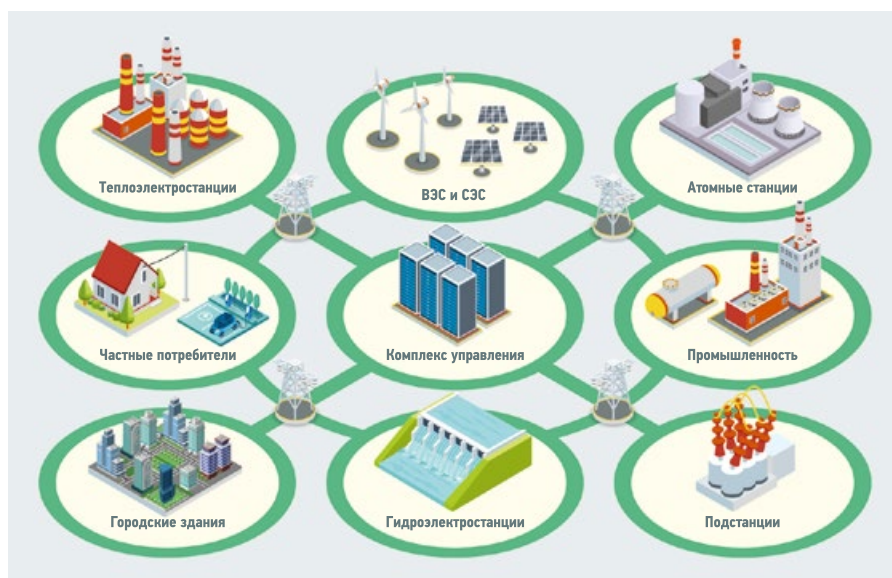


Рис. 3. Примерная схема «умной сети» (smart grid)



Искусственный интеллект в поиске аномалий энергообъектов ВИЭ

Энергетическое оборудование является критически важным объектом инфраструктуры, отказ которого может привести к серьёзным последствиям.

Накопленный научно-технический потенциал в области диагностики дефектов нефтегазового комплекса и объектов традиционной энергетики необходимо применить для объектов ВИЭ и других низкоуглеродных технологий.

Стоит отметить, что в Российской Федерации до сих пор не автоматизированы процессы диагностики дефектов на объектах СЭС и ВЭС. Это при том, что современные технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения уже могут успешно решать эти задачи с высокой точностью [6].

Например, задачу диагностики дефектов СЭС можно решать с помощью применения нейронных сетей в несколько этапов. Схема работы комплекса по диагностики дефектов представлена на рис. 4.

Различия традиционной и «умной» сети

табл. 1

Характеристика	Традиционная сеть	«Умная» сеть
Генерация	Централизованные объекты генерации	Комбинация распределённой генерации и централизованной генерации
Взаимоотношение между устройствами	Практически отсутствует	Двусторонний обмен данными с использованием удалённого контроля
Количество устройств	Небольшое	Большое
Роль потребителя	Отсутствует	Активное участие, формирование просьюмеров (потребителей-производителей электроэнергии)

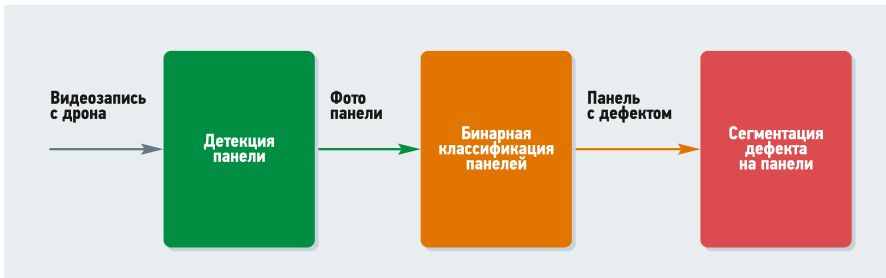


Рис. 4. Схема работы комплекса по диагностики дефектов

Аналогичный комплекс можно применять и для детектирования дефектов на лопастях ВЭС с определённой разницей, что потребуются другой набор для обучения. Также применительно к лопастям ВЭС невозможно использовать данные фотолюминесцентного анализа.

Поскольку съёмка панелей СЭС будет происходить с дрона, то на первом этапе требуется обработать полученную видеозапись с целью детекции (определения) области кадра, на которой находится панель. При этом стоит отметить, что модель сопоставляет несколько последовательных кадров одного видео между собой, тем самым идентифицируя на них один и тот же объект.

Современные технологии на основе искусственного интеллекта позволяют автоматизировать мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени. Система анализирует большой объём данных с различных датчиков и определяет нехарактерные паттерны, которые указывают на неисправности

На следующем этапе на вход исполняемой модели подаётся набор фотографий одной и той же панели, полученных в результате работы корректной детекции. Анализируя этот набор фотографий, системой принимается решение о том, сколько и каких дефектов содержит панель. При этом классификация проводится как на основе данных видимого спектра, так и в инфракрасном спектре.

Модель на заключительном этапе уже рассматривает только те фотографии панелей, на которых на втором этапе были обнаружены дефекты. При этом стоит отметить, что на предыдущем этапе отсеиваются панели с высокой оценкой чистоты. Повышение порога связано со спецификой решаемой задачи, поскольку при решении задач классификации панелей более чувствительны ошибки второго рода, то есть игнорирование дефекта.

Анализ полученных изображений (фотографий панелей), проведённый компанией ООО «Смартрен», на заключительном этапе приводит к сегментации возможных дефектов на панели, примеры чего приведены на рис. 5 и 6. Среди сегментарных дефектов рассматривались птичий помет, загрязнение, опавшая листва и физические повреждения.

Использование ИИ для мониторинга состояния оборудования АЭС

Атомные электростанции являются сложными технологическими сооружениями, требующие исключительно высокой степени надёжности.

Технологии на основе искусственного интеллекта позволяют автоматизировать мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени. Система анализирует большой объём данных с различных датчиков и определяет нехарактерные паттерны, которые указывают на потенциальные неисправности. Использование алгоритмов ИИ способствует снижению времени простоя и ремонта, что позволяет повысить коэффициент установленной мощности, а также способствует продлению срока службы элементов АЭС.

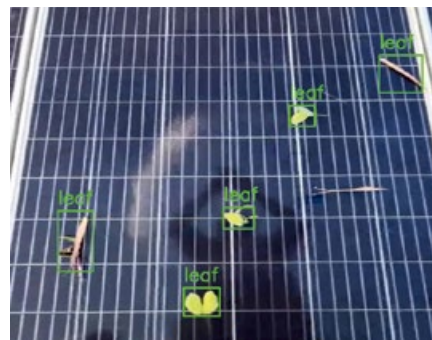
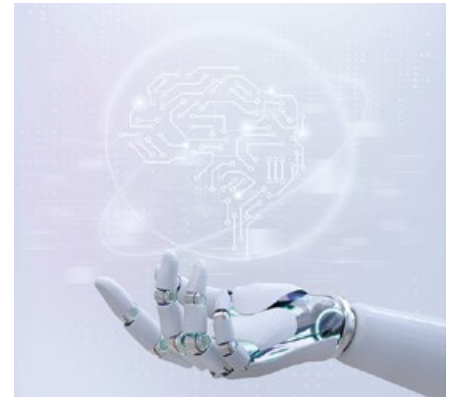


Рис. 5. Интеллектуальное определение дефектов на солнечных панелях



Рис. 6. Интеллектуальное выявление сложных солнечных панелей



Современный искусственный интеллект также применяется для определения дефектов на АЭС: трубопроводах, корпусе высокого давления, герметичной оболочке реактора, канальных реакторах и других [7]. Существуют работы, демонстрирующие, что машинное обучение активно используется для определения фактов утечек теплоносителя и мест их локализации в комплексе оборудования АЭС [8].

Заключение

В этой работе приведены примеры использования алгоритмов искусственного интеллекта в рамках трансформации энергетической отрасли. В качестве примеров использования данных алгоритмов приведены: возможность прогнозирования выработки возобновляемых источников энергии (ВЭС и СЭС), оптимизация работы электросетей, обнаружение дефектов на панелях СЭС и лопастях ВЭС, а также возможности мониторинга состояния оборудования на АЭС. ●

1. New Energy Outlook 2024 [Электр. текст]. Bloomberg-NEF. Режим доступа: about.bnef.com/new-energy-outlook. Дата обрац.: 25.06.2024.
2. Artificial intelligence (AI) market size worldwide from 2020 to 2030 [Электр. текст]. Statista. Режим доступа: [statista.com](https://www.statista.com). Дата обрац.: 25.06.2024.
3. Sarwar M., Asad B. A review on future power systems: Technologies and research for smart grids. Proc. of the 2016 Int. Conference on Emerging Technologies (ICET). IEEE. October 18–19, 2016. Islamabad, Pakistan. Pp. 1–6.
4. Величко А.И., Зубакин В.А., Терников О.В., Трегубенко М.Д. Краткосрочное прогнозирование солнечной радиации с использованием спутниковых снимков и долгосрочной рекуррентной сверточной нейронной сети // Автоматизация и информатизация ТЭК, 2022. № 10. С. 37–44.
5. Dissawa L.H., Roshan I.G., Ekanayake P.B., Agalgaonkar A.P., Robinson D., Ekanayake J.B., Perera S. Sky image-based localized, short-term solar irradiance forecasting for multiple PV sites via cloud motion tracking. International Journal of Photoenergy. Vol. 2021. 27 p.
6. Величко А.И., Зубакин В.А., Трегубенко М.Д., Юсупов К.Н. Алгоритмы компьютерного зрения и искусственного интеллекта для детекции дефектов на энергетическом оборудовании и объектах трубопроводного транспорта // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2024. № 1. С. 71–79.
7. Sandhu H.K., Bodda S.S., Gupta A. A future with machine learning: Review of condition. Assessment of structures and mechanical systems in nuclear facilities. Energies. 2023. Vol. 16. Issue 6.
8. She J., Shi T., Xue S., Zhu Y., Lu Sh., Sun P., Cao H. Diagnosis and prediction for loss of coolant accidents in nuclear power plants using Deep Learning methods. Frontiers in Energy Research. 2021. Vol. 9.

References — see page 80.

Using artificial intelligence for effective transformation of the electric power in-
dustry. Pp. 68–70.

Arseniy I. Velichko, general director, “Smartren” LLC (Moscow); **David A. Shapiro**, direc-
tor of development, “Smartren” LLC (Moscow)

1. New Energy Outlook 2024. BloombergNEF. Web-source: about.bnef.com/new-energy-outlook/. Access date: June 25, 2024.
2. Artificial intelligence (AI) market size worldwide from 2020 to 2030. Statista. Web-source: [statista.com](https://www.statista.com/). Access date: June 25, 2024.
3. M. Sarwar, B. Asad. A review on future power systems: Technologies and research for smart grids. Proc. of the 2016 International Conference on Emerging Technologies (ICET). IEEE. October 18–19, 2016. Islamabad, Pakistan. Pp. 1–6.
4. A.I. Velichko, V.A. Zubakin, O.V. Ternikov, M.D. Tregubenko. *Kratkosrochnoe prognozirovanie solnechnoj radiatsii s ispol'zovaniem sputnikovyx snimkov i dolgosrochnoj rekurrentnoj svertch-noj nejronnoj seti* [Short-term forecasting of solar radiation using satellite images and a long-term recurrent convolutional neural network]. *Avtomatizatsiya i informatizatsiya TJeK* [“Auto-mation and informatization of the fuel and energy complex of Russia” Magazine]. 2022. No. 10. Pp. 37–44. [In Russian]
5. *Iz kosmosa vidnee* [Better seen from space]. “*Jenergoznanie*” [Energy-knowledge] of August 30, 2022. Web-source: energovector.com. Access date: June 25, 2024. [In Russian]
6. A.I. Velichko, V.A. Zubakin, M.D. Tregubenko, K.N. Yusupov. *Algoritmy komp'yuternogo zreni-ja i iskusstvennogo intellekta dlja detektsii defektov na jenergeticheskom oborudovanii i ob#ektakh truboprovodnogo transporta* [Computer vision and artificial intelligence algorithms for detect-ing defects in power equipment and pipeline transport facilities]. *Oborudovanie i tekhnologii dl-ja neftegazovogo kompleksa* [“Equipment and technologies for the oil and gas complex” Maga-zine]. 2024. No. 1. Pp. 71–79. [In Russian]
7. H.K. Sandhu, S.S. Bodda, A. Gupta. A future with machine learning: Review of condition. Assessment of structures and mechanical systems in nuclear facilities. *Energies*. 2023. Vol. 16. Issue 6.
8. J. She, T. Shi, S. Xue, Y. Zhu, Sh. Lu, P. Sun, H. Cao. Diagnosis and prediction for loss of coolant accidents in nuclear power plants using Deep Learning methods. *Frontiers in Energy Research*. 2021. Vol. 9.