

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Бучацкий П.Ю.¹, Онищенко С.В.², Теплоухов С.В.³
(ФГБОУ ВО Адыгейский государственный университет,
Майкоп)

Искусственный интеллект (ИИ) может способствовать более широкому распространению возобновляемых источников энергии во всем мире, поскольку его использование упрощает процесс внедрения альтернативных видов энергии на всех этапах: от прогнозирования и оценки теоретического потенциала энергии, до реализации адаптивных систем управления сложными распределенными энергетическими комплексами. В связи с этим, в данной работе рассмотрены основные возможности существующих технологий ИИ, которые могут быть применены при организации энергетических систем с ВИЭ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, возобновляемые источники энергии, энергетические системы, прогнозирование, управление

1. Введение

Во всем мире на протяжении последних лет наблюдается постоянный рост генерации энергии, на основе возобновляемых источников энергии, что обусловлено множеством различных факторов [1]:

- истощение традиционных природных ресурсов;
- стремительный рост количества потребляемой энергии;
- необходимость в повышении энергетической независимости;
- стремление к снижению углеродной «зависимости» и уменьшению уровня выброса парниковых газов.

Глобальные выбросы углерода, связанные с энергетикой, увеличились до тревожного уровня в 2021 году, приблизившись к второму по величине темпу годового роста в истории [2]. Чтобы предотвратить повторение этого ужасного явления, крайне

¹ Бучацкий Павел Юрьевич, к.т.н., доцент (buch@adygnet.ru).

² Онищенко Стефан Владимирович, (osv@adygnet.ru).

³ Теплоухов Семен Васильевич, к.т.н., доцент (tepl_sv@adygnet.ru).

важно позиционировать будущую энергетическую экосистему вокруг возобновляемых источников энергии. В настоящее время доля электроэнергии от возобновляемых источников в глобальном конечном потреблении энергии составляет около 20%, и, по прогнозам, к 2050 году она вырастет до колоссальных 50% (например, за счет перехода на электромобили)..

При разработке и внедрении подобных энергетических систем возникают различные трудности такие как: сложность моделирования прихода энергии [3], сложность прогнозирования поступления и выработки энергии [4], эксплуатационные сбои и неисправности в процессе использования энергетических станций [5].

Данные проблемы могут быть разрешены за счет использования технологий искусственного интеллекта, которые могут быть интегрированы и применены при реализации каждого из этапов проектирования и использования разрабатываемой энергетической системы, вплоть до создания системы управления на основе цифровых двойников [6], представляющей из себя сложную киберфизическую систему управления реальным объектом.

2. Материалы и методы

В современных энергосистемах с возобновляемой энергией применяется большое количество датчиков, которые позволяют фиксировать различные параметры функционирования этих систем: производство электроэнергии и производительность системы, метеорологические данные и состояние работоспособности внутренних компонентов, что позволяет применять технологии ИИ [7]. Такими примерами являются:

изображения солнечных панелей (или лопастей турбины) можно использовать для применения методов компьютерного зрения, чтобы упростить проверку и анализ дефектов компонентов с помощью ИИ;

исторические данные об отказах от датчиков ветряных турбин (или солнечных панелей) можно использовать для разработки моделей искусственного интеллекта для профилактического и корректирующего обслуживания;

исторические данные о производстве электроэнергии (например, по солнечным панелям и ветряным электростанциям) можно использовать для разработки моделей искусственного интеллекта, которые помогут операторам энергосистем лучше планировать объемы генерации энергии.

Упомянутые выше примеры не являются исчерпывающими – это лишь некоторые из основных классов проблем, которые могут быть решены за счет интеграции технологий ИИ в область возобновляемых источников энергии. Несмотря на различия в основных аспектах использования, и самих методах ИИ, общим фактором применения ИИ в области возобновляемых источников энергии является процесс поддержки принятия решений, который является ключевым на всех этапах от прогнозирования и выбора места расположения энергостанции до ее эксплуатации и распределения генерируемых мощностей [8].

В целом, существующие методы искусственного интеллекта могут быть разбиты на три больших категории, которые направлены на: обработку входных данных (включая предварительную и постобработку), прогнозирование мощности проектируемых станций и моделирование всех аспектов ВИЭ и практические приложения, предназначенные для оптимизации процессов работы системы и построения адаптивных систем управления (рисунок 2).

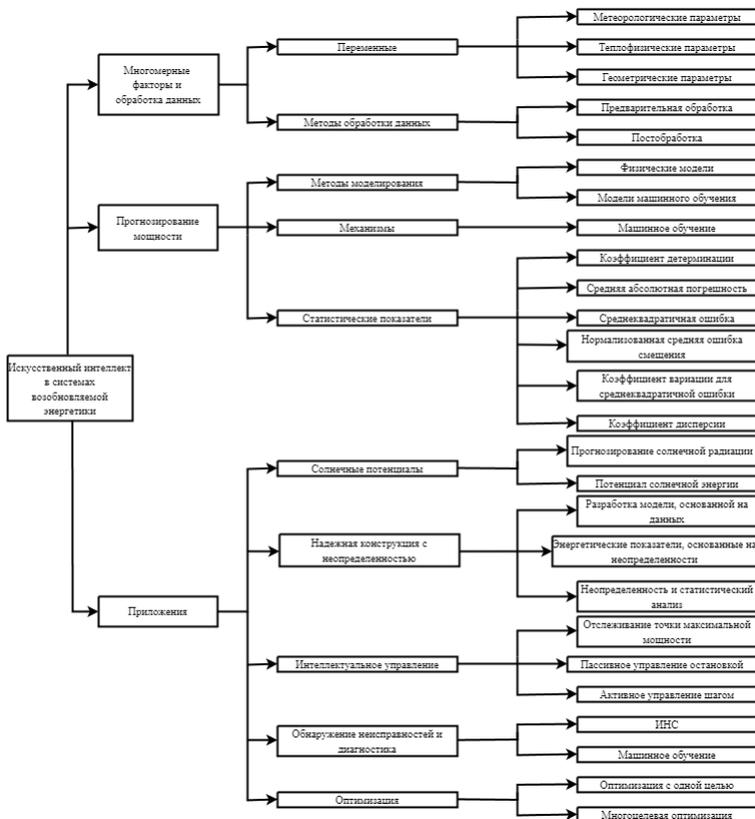


Рис. 2. – Классификация подходов ИИ, используемых при реализации энергетических систем на основе ВИЭ

УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Благодаря отличной способности к обучению и быстрой адаптации к среде с изменяющимися параметрами и неопределенностями модели искусственный интеллект широко применяется в интеллектуальном управлении системами возобновляемой энергии. На рисунке 3 представлен один из возможных комплексных подходов к управлению системами ВИЭ на основе ИИ.



Рис. 3. – Схема гибридного метода ИИ для оптимального управления энергопотреблением

Данный метод [9] основываясь на трех различных подходах позволяет спрогнозировать пороговую нагрузку в системе, объемы генерации и оценить стоимость сгенерированной энергии. В результате чего может быть выбран наиболее эффективный набор действий, для оптимизации работы электрической станции на основе ВИЭ.

Следующим применением методов ИИ является разработка алгоритмов для управления системами аккумуляторных батарей, активно используемых при реализации систем с вовлечением ВИЭ [10]:

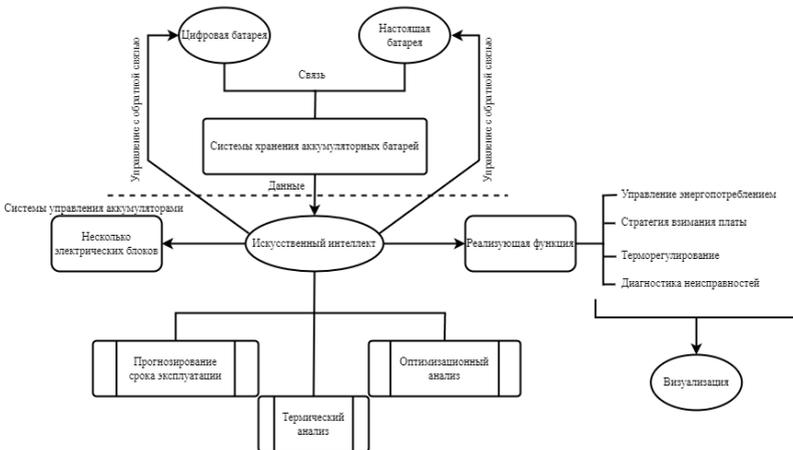


Рис. 4. – Алгоритм управления системой накопления энергии на основе ИИ

В результате реализации подобного подхода удастся оптимизировать процессы разряда и заряда носителей, что повышает эффективность всей энергетической системы и в значительной степени повышает срок службы батарей, которые являются од-

ним из наиболее дорогостоящих элементов энергосистемы с ВИЭ.

В таблице 1 представлено краткое обобщение методов ИИ для различных задач интеллектуального управления в системах возобновляемой энергии, включая солнечные фотоэлектрические системы, ветряные турбины и системы естественной тепловой энергии [11].

Таблица 1 – Применение ИИ в интеллектуальном управлении в системах возобновляемой энергии

Система	Ссылка	Подход	Механизм	Результат
PV	12	Отслеживание точки максимальной мощности	Алгоритм градиентного спуска для обучения контроллера ИНС	Адаптивный регулятор
PV	13	Отслеживание точки максимальной мощности	ANN определяет оптимальную рабочую точку	Выходная энергия может быть улучшена примерно на 45,2% в ясный солнечный день.
Ветряная турбина	14	Управление углом наклона на основе ИНС	Многослойное восприятие с алгоритмом обучения обратного распространения	Можно избежать перегрузки или выхода из строя ветряной турбины при высокой скорости ветра.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ

Концептуальная модель цифрового двойника (ЦД) состоит из трех основных частей: а) физические продукты в реальном пространстве, б) виртуальные продукты в виртуальном пространстве и в) соединения данных и информации, которые связывают виртуальные и реальные продукты вместе [15]. Поскольку ЦД охватывает все этапы жизненного цикла, выделяют следующие подкатегории, где может использоваться комплексная система на основе ЦД [16]:

этап проектирования: оптимизация, генерация данных, виртуальная оценка;

этап эксплуатации: мониторинг, производственный контроль, прогнозирование процесса, оптимизация и планирование процесса;

этап обслуживания: прогностическое обслуживание, обнаружение и диагностика неисправностей, виртуальное тестирование.

В результате реализации данных этапов может быть получена комплексная система управления, которая производит адаптивное управление за счет реализации прогноза на основе использования интеллектуальных моделей и различных методов метаэвристической оптимизации, в результате чего повышается эффективность использования всей энергетической станции, являющейся частью распределенной инфраструктуры электроснабжения. Ниже на рисунке представлена схема подобной киберфизической системы управления, которая является сопровождающим обеспечением реального объекта от этапа его проектирования до непосредственной эксплуатации и сопровождения [17].

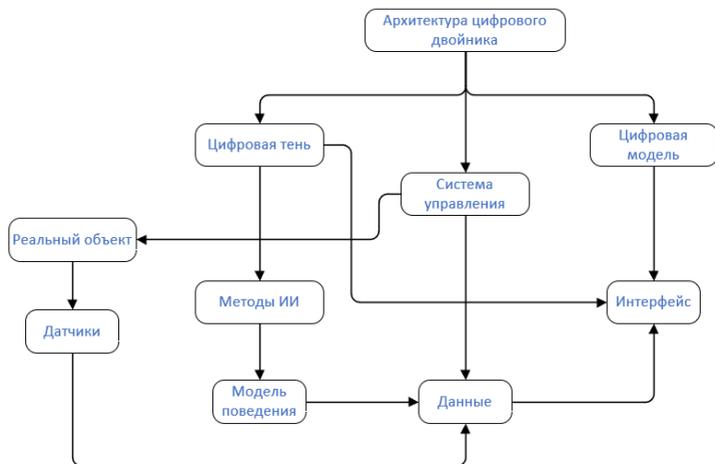


Рис. 5. – Вариант цифрового двойника для ветроэлектростанции

3. Заключение

Развитие методологии использования искусственного интеллекта в рамках энергетических систем с ВИЭ является важным шагом при реализации системы оценки решений в возобновляемой энергетике, поскольку применение совокупности методов искусственного интеллекта позволяет реализовать в рамках подсистемы управления знаниями набор необходимых моделей, применяемых во всех остальных подсистемах в зависимости от типа решаемой задачи и уровня имеющейся неопределенности входных данных. Существующее многообразие методов позволяет комплексно решать все задачи связанные с вовлечением ВИЭ в энергосистему, в результате чего может быть получено наиболее оптимальное решение по интеграции определенного ресурса.

Наиболее перспективным является направление развития цифровых двойников, которые создаются на основе нескольких методов ИИ, в результате чего возникает универсальная система моделирования учитывающая основные характеристики реаль-

ного физического объекта, которая может быть модернизирована в адаптивную систему управления с возможностью мониторинга процесса и диагностики общего состояния системы.

Литература

1. Oguz Ozan Yolcan, World energy outlook and state of renewable energy: 10-Year evaluation, Innovation and Green Development, Volume 2, Issue 4, 2023, 100070, ISSN 2949-7531, <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100070>
2. International Energy Agency Global Energy Review 2021 - Analysis (2021) <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
3. Симанков, В. С. Обзор моделей оценки и прогнозирования поступления солнечной энергии / В.С. Симанков, П. Ю. Буцацкий, С. В. Онищенко, С.В. Теплоухов // *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий* : Материалы VII Международной научно-практической конференции, Майкоп, 15-19 мая 2023 года. Том Часть 2. - Майкоп, 2023. - С. 167-174.
4. Симанков В.С. Автоматизация системных исследований: монография /В.С. Симанков; Техн. Ун-т КубГТУ. Краснодар, 2002. 376 с
5. Joyjit Chatterjee, Nina Dethlefs, Facilitating a smoother transition to renewable energy with AI, Patterns, Volume 3, Issue 6, 2022, 100528, ISSN 2666-3899, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100528>.
6. Онищенко, С. В. Разработка концепции цифрового двойника для автономного комплекса по оценке энергетического потенциала возобновляемых источников энергии / С. В. Онищенко, К. А. Кузьмин, Т. Ю. Бычков // *Прикладные вопросы точных наук*, Армавир, 28-29 октября 2022 года. С. 178-180
7. Tanveer Ahmad, Hongyu Zhu, Dongdong Zhang, Rasikh Tariq, A. Bassam, Fasee Ullah, Ahmed S AlGhamdi, Sultan S. Alshamrani, *Energetics Systems and artificial intelligence: Applications of industry 4.0*, Energy Reports, Volume 8, 2022,

- Pages 334-361, ISSN 2352-4847,
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.256>.
8. Симанков, В. С. Методологические основы инновационных решений в возобновляемой энергетике / В. С. Симанков, П. Ю. Бучацкий // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. - 2021. - № 3(286). - С. 42-54
 9. Francesco Conte, Federico D'Antoni, Gianluca Natrella, Mario Merone, A new hybrid AI optimal management method for renewable energy communities, Energy and AI, Volume 10, 2022, 100197, ISSN 2666-5468, <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100197>.
 10. Zhi Liu, Ying Gao, Baifen Liu, An artificial intelligence-based electric multiple units using a smart power grid system, Energy Reports, Volume 8, 2022, Pages 13376-13388, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.138>.
 11. Yuekuan Zhou, Artificial intelligence in renewable systems for transformation towards intelligent buildings, Energy and AI, Volume 10, 2022, 100182, ISSN 2666-5468, <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100182>.
 12. M. Veerachary, V. Yadaiah ANN based peak power tracking for PV supplied dc motors Solar Energy, 69 (4) (2000), pp. 343-350
 13. A.B.G. Bahgata, N.H. Helwab, G.E. Ahmadb, E.T. El Shenawy Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks Renewable Energy, 30 (2005), pp. 1257-1268
 14. AS Yilmaz, Z ?zer Pitch angle control in wind turbines above the rated wind speed by multi-layer perceptron and radial basis function neural networks Expert Systems with Applications, 36 (2009), pp. 9767-9775
 15. M. Grieves Digital twin : manufacturing excellence through virtual factory replication White paper (2014) https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication
 16. Wei Yu, Panos Patros, Brent Young, Elsa Klinac, Timothy Gordon Walmsley, Energy digital twin technology for industrial energy management: Classification, challenges and future, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 161,

2022, 112407, ISSN 1364-0321,
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407>.

17. Массель Л. В., Массель А. Г., Шукин Н. И., Цыбиков А. Р. Разработка цифрового двойника ветровой электростанции: постановка задачи и проектирование // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. №1 (25).

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT OF ENERGY SYSTEMS BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

Pavel Buchatsky, Adygea State University, Maykop, Candidate of Technical Sciences, assistant professor (buch@adygnet.ru).

Semen Teploukhov, Adygea State University, Maykop, Candidate of Technical Sciences (tepl_sv@adygnet.r).

Stefan Onishchenko, Adygea State University, Maykop (osv@adygnet.ru).

Abstract: Artificial intelligence (AI) can contribute to a wider spread of renewable energy sources around the world, since its use simplifies the process of introducing alternative types of energy at all stages: from forecasting and evaluating the theoretical potential of energy, to the implementation of adaptive control systems for complex distributed energy complexes. In this regard, this paper considers the main possibilities of existing technologies and which can be applied in the organization of energy systems with RES.

Keywords: artificial intelligence, renewable energy sources, energy systems, forecasting, management

УДК 004.89:621.3

ББК 78.34

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*