УДК 621.316.727

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАСЧЕТА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CALCULATING REACTIVE POWER COMPENSATION IN ELECTRIC POWER SUPPLY CHAINS

Н.Д. Селезнёв
Научный руководитель – И.А. Ринговский, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N.Seleznev
Supervisor – I. Ringovsky, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Данная статья посвящена исследованию потенциала применения искусственного интеллекта (ИИ) в современной энергетике. В центре внимания – анализ ограничений традиционных схем компенсации реактивной мощности, применяемых в электрических сетях и выявление их недостатков. Обосновывается эффективность применения интеллектуальных систем управления.*
Abstract: *This article explores the potential of using artificial intelligence (AI) in the modern energy sector. The focus is on analyzing the limitations of classical reactive power compensation schemes used in electrical networks and identifying their drawbacks. The article also highlights the effectiveness of using intelligent control systems.*
Ключевые слова: *искусственный интеллект, технологии, модели, энергоэффективность.*
Keywords: *artificial intelligence, technologies, models, energy efficiency.*

Введение

Цифровая трансформация играет определяющую роль в развитии энергетики, вытесняя традиционные подходы к управлению ресурсами электросетей. Главной задачей в этом процессе является оптимизация потоков реактивной мощности. Данный параметр представляет собой скрытую нагрузку, не производящую полезной работы, но вызывающую перегрузку сетевой инфраструктуры и приводящую к существенным экономическим потерям.

Интеграция технологий ИИ в электроэнергетическую отрасль служит катализатором для совершенствования процессов управления, что способствует росту экономической эффективности, усилению мер безопасности и повышению качества эксплуатационного контроля. Стабильное и бесперебойное электроснабжение является ключевой задачей при проектировании и эксплуатации энергосистем. Следует отметить, что важными параметрами, требующими постоянного мониторинга и анализа в рамках функционирования энергетических комплексов, являются: распределение электрических нагрузок, обеспечение устойчивости и надёжности функционирования, предотвращение

аварийных ситуаций, а также регулирование уровней напряжения и реактивной мощности. Указанные факторы отражают высокую научную и практическую значимость исследования, особенно в условиях перехода к интеллектуальным энергосетям нового поколения.

Основная часть

Проведем сравнительный анализ эффективности и эксплуатационных параметров традиционных средств компенсации реактивной мощности и технологий ИИ:

- Традиционные компенсирующие устройства функционируют по дискретному принципу пошагового переключения. Конденсаторные установки характеризуются значительной задержкой между изменением параметра сети и выполнением корректирующих действий. Полный цикл управления включает в себя 3 стадии: точное измерение текущего параметра (в данном случае мощности), обработку информации контроллером, воздействие на управляющий элемент с целью корректировки его текущего параметра. Суммарное время выполнения всех стадий составляет в среднем десятки секунд. Таким образом, устройство не успевает компенсировать потери. Существенные затруднения наблюдаются в работе с оборудованием, которое имеет быстропеременный режим работы. Традиционные системы не успевают отслеживать характер потребления реактивной мощности;
- Низкая способность традиционных методов компенсации реактивной мощности к точному прогнозированию динамики нагрузок, что негативно сказывается на стабильности и надежности функционирования энергосистемы;
- Ограниченная способность к динамической корректировке параметров;
- Традиционные методы управления, в большинстве случаев предполагают ручную настройку параметров, что повышает вероятность ошибок и ограничивает адаптивность системы.

Очевидно, что традиционные схемы компенсации реактивной мощности, основанные на использовании конденсаторных установок с релейно-контакторным управлением, демонстрируют ряд ограничений в условиях современной энергетики.

В отличие от традиционных методов применение ИИ в сфере энергетики:

- Снижает влияние человеческого фактора;
- Гарантирует безопасность, предоставляя людям возможность не подвергать себя опасности напрямую;
- Обеспечивает высокую доступность, что позволяет значительно увеличить общее время работы;
- Сокращает технические потери в электрических сетях;
- Снижает выбросы парниковых газов в атмосферу.

Известно, что ИИ обладает способностью к анализу временных рядов параметров энергосети: напряжение, ток, активная и реактивная мощность.

Рассмотрим некоторые модели искусственных нейронных сетей, которые увеличивают эффективность функционирования энергосистемы [1]:

- LSTM-модели, гарантирующие высокую точность прогнозирования в условиях нестабильной нагрузки и высокой вариативности параметров сети;
- GRU и CNN-LSTM модели, которые эффективно выполняют функции при наличии шумов и пропущенных значений;
- XGBoost и Random Forest модели, обеспечивающие возможность сравнить эффективность глубоких подходов при решении прикладных задач в энергосистемах;
- Transformer-модели, создающие условия для более точного прогнозирования за счет способности сосредотачиваться на наиболее значимых участках временного ряда.

Следует отметить, что современные модели искусственных нейронных сетей способны краткосрочно прогнозировать от 15 до 60 минут вперед, снижают потери и повышают стабильность напряжения.

Однако при эксплуатации энергетических систем с использованием ИИ существует ряд недостатков:

- Финансовые затраты, так как реализация технологий ИИ связана с существенными инвестициями;
- Сложности внедрения, так как ограничено количество квалифицированных разработчиков ИИ, особенно на региональном уровне;
- Ограничения ИИ в критических ситуациях, при которых важен человеческий опыт, интуиция и способность принятия нестандартных решений;
- Повышение уязвимости систем к внешнему вмешательству.

Заключение

Внедрение технологий искусственного интеллекта открывает новые горизонты для повышения качества управления энергосистемами. Современные модели ИИ – такие как LSTM, GRU, CNN-LSTM, XGBoost, Random Forest и Transformer – обеспечивают высокоточное краткосрочное прогнозирование параметров сети, оперативную корректировку режимов работы и значительное снижение технических потерь. Это способствует не только повышению экономической эффективности и стабильности напряжения, но и уменьшению экологического воздействия за счёт снижения выбросов парниковых газов.

Вместе с тем, применение ИИ сопряжено с определёнными вызовами: высокими первоначальными затратами, дефицитом квалифицированных специалистов, ограниченной способностью алгоритмов принимать нестандартные решения в критических ситуациях и повышенными требованиями к кибербезопасности. Тем не менее, преимущества, предоставляемые искусственным интеллектом, значительно перевешивают указанные недостатки, особенно в перспективе построения интеллектуальных энергосетей нового поколения.

Таким образом, внедрение технологий ИИ в систему электроснабжения позволяет реализовать более точные, оперативные и адаптивные подходы к управлению энергосистемами. Применение ИИ в энергетике демонстрирует высокую результативность и подтверждает его значимость как инструмента повышения эффективности энергосистем. Это открывает новый путь к созданию гибкой, интеллектуальной и экологически чистой энергетической инфраструктуры будущего.

Литература

1. Рахмонов И.У., Ушаков В.Я., Ниёзов Н.Н., Курбонов Н.Н. Прогнозирование электропотребления с помощью нейронных сетей с LSTM // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 2. – С. 45–52.

2. Кокуева В.В., Эрдниева Б.Ю. Области применения искусственного интеллекта // Молодой ученый. 2020. № 11. С. 359–365.

3. Journal of Current Research in Engineering and Science [Том 3, Выпуск 2, Статья 3] 2022 / сост. доктор технических наук Вену Мадхава Чари.