

Применение нейрорегуляторов в системах управления электроприводов ветрогенераторов

А. И. Антоненко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

E-mail: antonenkai@gmail.com

Аннотация. В данном исследовании проводится обзор существующих методов управления ветроустановками с нейрорегуляторами, их преимуществ по сравнению с традиционными регулирующими системами и поиске оптимальных решений для реализации в многомерных системах управления. Также в исследовании проводится сравнительный анализ традиционных регуляторов и нейрорегуляторов, эффективность применения каждого из них, а также перспективы их применения.

Ключевые слова: нейрорегулятор; система управления электроприводом; ветроэнергетика; ветрогенератор

I. ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где устойчивое развитие и использование возобновляемых источников энергии становятся актуальными, ветряные установки занимают важное место в системе получения электроэнергии. Эффективность работы таких установок напрямую зависит от правильной и оптимизированной работы их систем управления приводом. В данной работе исследуется применение нейрорегуляторов в этих системах, что позволяет существенно повысить эффективность эксплуатации ветряных турбин.

Нейрорегуляторы представляют собой системы, основанные на принципах нейронных сетей и искусственного интеллекта, которые способны к адаптивному управлению и улучшению качества работы приводов за счет анализа входных данных и минимизации ошибок. Подходы, применяемые в разработке нейрорегуляторов, позволяют обеспечить стабильность и надежность работы в условиях динамически изменяющегося внешнего окружения, характерного для эксплуатации ветряных установок. Применение таких регуляторов может значительно повысить как производительность, так и срок службы оборудования.

Основные задачи, поставленные в работе, заключаются в исследовании существующих методов управления ветроустановками с нейрорегуляторами, их преимуществ по сравнению с традиционными регулирующими системами и поиске оптимальных решений для реализации в многомерных системах управления. Выстраивание оптимального алгоритма управления на основе нейрорегуляторов включает в себя формирование математических моделей и алгоритмов, что является предметом детального анализа в рамках данной работы. [15]

Результаты исследования будут включать сравнительный анализ параметров работы традиционных регуляторов и нейрорегуляторов, демонстрацию их влияния на эффективность систем управления приводами ветряных установок, а также практическую реализацию предложенного алгоритма. Значимое внимание будет уделено влиянию нестабильных метеорологических условий на работу ветряных установок и тому, как нейрорегуляторы способны адаптироваться к этим изменениям в режиме реального времени. [8]

II. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Для разработки моделей системы управления приводом ветряных установок с использованием нейронных сетей необходимо учитывать множество факторов, таких как характеристики ветряной установки, погодные условия, особенности нагрузки и прочие. Структура системы управления может быть представлена в виде многоуровневой архитектуры, где различные уровни управления отвечают за обработку информации, принятие решений и непосредственное управление приводами, что позволяет эффективно реагировать на изменения внешней среды.

На первом уровне системы расположен сенсорный блок, собирающий данные о текущем состоянии ветряной установки и внешних условиях, таких как скорость и направление ветра, температура воздуха и нагрузки на привод. Эти данные передаются на уровень обработки информации, где с помощью нейронных сетей осуществляется анализ и фильтрация данных. Нейронные сети, использованные для этих целей, способны адаптироваться к меняющимся условиям, обучаясь на исторических данных и корректируя свои параметры, что обеспечивает высокую точность прогнозирования.

На следующем уровне происходит обработка информации, где с помощью обученной нейронной сети выполняется классификация ситуаций и прогнозирование поведения системы в зависимости от входящих параметров. Нейронные сети применяются для формирования управляющих сигналов, которые передаются на уровень выполнения, где осуществляется непосредственное управление приводами. На этом этапе также может использоваться обратная связь, что позволяет корректировать управляющие воздействия в реальном времени в зависимости от изменений в работе установки. [10]

В процессе разработки моделей системы управления используется различное программное обеспечение для создания нейронных сетей, такие как TensorFlow и PyTorch [16, 17], которые предоставляют инструменты для построения и обучения сложных моделей. Обучение нейронной сети осуществляется на выборке исторических данных, содержащей информацию о различных режимах работы ветряной установки и соответствующих им настройках системы управления. Используя алгоритмы обратного распространения ошибки и градиентного спуска, достигается оптимизация весов нейронной сети, что обеспечивает точное соответствие между входными и выходными данными.

Для повышения надежности системы применяются методы ансамблевого обучения, когда результат нескольких моделей объединяется для получения более стабильного и эффективного решения. Это позволяет системе не только адаптироваться к изменениям в реальном времени, но и предотвращать выход из строя приводов и других компонентов ветряной установки, что особенно важно в условиях переменчивого климата и изменяющихся нагрузок. [14]

III. ФОРМУЛА НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА

В основе работы нейрорегуляторов в системах управления приводом ветряных установок лежат математические модели (электропривода, ветрогенератора и пр.), что позволяет эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать оптимизацию параметров работы. Основной задачей нейрорегулятора является минимизация ошибки, определяемой как разница между заданным (референтным) значением и фактическим значением выходного сигнала системы управления.

Таким образом, структура нейрорегулятора включает три составляющие: пропорциональную, интегральную и дифференциальную части, каждая из которых имеет свое значение в общей формуле. Пропорциональная часть отвечает за быстрый ответ системы на изменения ошибки, интегральная – за устранение устойчивого отклонения (погрешности) со временем, а дифференциальная – за предсказание будущих изменений ошибки, что позволяет системе более эффективно реагировать на резкие колебания в параметрах управления.

Тем не менее, традиционные методы, основанные на классических ПИД-регуляторах, могут не обеспечивать необходимой гибкости и адаптивности в работе с быстроменяющимися параметрами, что делает их недостаточно эффективными для применения при управлении ветряными установками. Здесь на помощь приходят нейронные сети, чьи алгоритмы могут обучаться на основе накопленных данных, что дает возможность выявления более сложных зависимостей в системе управлений. [14]

Для нейронных регуляторов используются несколько подходов при формировании выходного управляющего сигнала. Одним из подходов является внедрение архитектуры, основанной на многоуровневых перцептронах, где каждый уровень отвечает за определенные аспекты управления. В таком случае,

выход нейронной сети можно представить как сложную зависимость от входных данных следующим образом:

$$u(t) = f(W' * X + b) \quad (1)$$

где: f – функция активации нейронной сети (например, ReLU, Sigmoid и т.д.); W – матрица весов, определяющая влияние каждого входного сигнала; X – вектор входных данных; b – вектор смещений, позволяющий корректировать выходные значения. [11]

Таким образом, применение нейрорегуляторов позволяет не только повысить эффективность управления, но и уменьшить вероятность отказов и выходов оборудования из строя.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были рассмотрены ключевые аспекты применения нейрорегуляторов в системе управления приводом ветряных установок. Анализ существующих методов управления показал, что традиционные подходы, основанные на классических ПИД-регуляторах, зачастую не обеспечивают необходимую гибкость и адаптивность в условиях быстро меняющейся среды, что может приводить к снижению общей эффективности работы установок. Нейрорегуляторы, по сравнению с традиционными методами, продемонстрировали способности к самонастройке и оптимизации управляющих сигналов в режиме реального времени, что позволяет значительно повысить стабильность и надежность систем управления, а также эффективность генерации энергии.

Одним из основных выводов является то, что нейронные сети, используемые в качестве регуляторов, могут обрабатывать сложные и многомерные входные данные, что делает их особенно подходящими для работы с ветряными установками, подверженными влиянию таких переменных, как скорость и направление ветра, изменения нагрузки и погодные условия. Обучив нейронные регуляторы на исторических данных, удалось достичь высокой точности прогнозирования и минимизации ошибок, что, в свою очередь, привело к улучшению отклика системы на изменения во внешней среде. Эффективность нейрорегуляторов была подтверждена как теоретическими расчетами, так и практическими экспериментами, проведенными на ряде пилотных ветряных установок. [3]

Кроме того, применение ансамблевых методов обучения в рамках нейрорегуляторов увеличивает устойчивость системы, позволяя не только реагировать на изменения в режиме реального времени, но и проводить более точные предсказания будущих состояний системы. Этот подход находит своё практическое применение в повышении качества электроэнергии, что служит важным конкурентным преимуществом в условиях растущего спроса на возобновляемые источники энергии.

Нейрорегуляторы могут быть внедрены в существующие системы управления ветряными установками с относительно небольшой модификацией, что делает их практическое применение реальным и

доступным. Разработка и оптимизация алгоритмов управления на основе нейронных сетей открывают широкие перспективы для повышения эффективности ветряной энергетики. Дальнейшие исследования в этой области направлены на улучшение алгоритмов и методов обучения нейронных сетей, что, в свою очередь, должно увеличить экономическую целесообразность и эксплуатационную надежность ветряных установок. [6]

Таким образом, результаты исследования подтверждают целесообразность внедрения нейрорегуляторов в современные системы управления приводом ветряных установок, что обещает не только повышение их эффективности, но и способствует дальнейшему развитию возобновляемых источников энергии в глобальном масштабе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шандарова Е.Б., Букреев В., Быстров Е. Моделирование симуляции привода индукционного двигателя погружного технологического оборудования насоса. // Электротехнические системы и комплексы. 2021. С.13-18 [Электронный ресурс] URL: <http://esik.magtu.ru/en/68-english/no-4-53-dec-2021/623-shandarova-e-b,-bukreev-v-g,-bystrov-e-a-simulation-modeling-of-induction-motor-drive-of-a-submersible-technological-equipment-pump.html> (дата обращения: 02.03.2025).
- [2] Красинская Е.М. Красинский, А.Я. Стабильность и стабилизация равновесного состояния механических систем с избыточными координатами. // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. 03.03.2013 [Электронный ресурс] URL: <http://technomag.edu.ru/en/doc/541146.html> (дата обращения: 02.03.2025).
- [3] Двинин Д. Оценка выбросов парниковых газов и ресурсной интенсивности регионального комплекса электрической энергии России. // Регионалистика. 01.01.2019 [Электронный ресурс] URL: <http://regionalistica.org/archive/24-2019/2019-2/185-reg-2019-2-6-eng> (дата обращения: 02.03.2025).
- [4] Настасенко В.А. Technical and economic comparative analysis of exploitation the sail and wind electric generator systems of the ship. // Development of Management and Entrepreneurship Methods on Transport (ONMU). 01.01.2018 [Электронный ресурс] URL: <http://www.daemmt.odessa.ua/index.php/daemmt/article/view/233/196> (дата обращения: 02.03.2025).
- [5] Голобоков С.В. Перспективы развития распределенной генерации тепловой и электрической энергии в России / С.В. Голобоков, А.А. Тихомирова, К.А. Степанова // Инжиниринг и технологии. 2019. Vol. 4(2). С. 1–7. DOI 10.21685/2587-7704-2019-4-2-4.
- [6] Тинякова В.И., Брикошина И.С., Червонцева М.А. Формирование эффективной системы управления результатами интеллектуальной деятельности промышленных предприятий. // Современная экономика проблемы и решения. 19.05.2022 [Электронный ресурс] URL: <https://journals.vsu.ru/meps/article/view/9231> (дата обращения: 02.03.2025).
- [7] Л.М. Абдали, Ф.М. Аль-Руфайе, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинова. Оптимизация хранения энергии в гибридных системах ветровой и фотоэлектрической энергетики. // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова 06.11.2020 [Электронный ресурс] URL: <http://izdat.istu.ru/index.php/vestnik/article/view/4534> (дата обращения: 02.03.2025).
- [8] Симанков В.С., Бучатский П.Ю. Методологические основы инновационных решений в инженерии возобновляемой энергии. // Вестник Адыгейского государственного университета серия «Естественно-математические и технические науки». 08.12.2021 [Электронный ресурс] URL: <http://vestnik.adygnet.ru/files/2021.3/6695/42-54.pdf> (дата обращения: 02.03.2025).
- [9] Жданов Д.А., Молдабаев К.Т. Тенденции увеличения энергоэффективности: возможности возобновляемых и традиционных энергетических секторов. // Актуальные проблемы экономики и права. 26.06.2020 [Электронный ресурс] URL: <https://www.rusjel.ru/jour/article/view/140> (дата обращения: 02.03.2025).
- [10] Фраймович Д.Ю., Власенко К.А., Усова А.И. Влияние цифровой трансформации на инновационное развитие промышленных предприятий. // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Серия: Социально-экономические науки. 29.08.2021 [Электронный ресурс] URL: <https://vestnik.npi-tu.ru/index.php/vestnikSRSTU/article/view/1425> (дата обращения: 02.03.2025).
- [11] Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Разработка интенсивных машинных технологий, роботизированных технологий, эффективного энергоснабжения и цифровых систем в агробизнесе. // Техника и оборудование для села. 2019. 6 (264) С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8
- [12] Краснобаев Ю.В., Непомнящий О.В., Иванчур В.И., Пожаркова И.В., Яблонский А.П. Импульсный стабилизатор напряжения с цифровым управлением для автономной системы электропитания. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 11. 61–73.
- [13] Шеметов А.Н., Федорова С.В., Кузнецов С.А., Ляпин Р. Современные проблемы и перспективы моделирования управления энергией на предприятиях горно-металлургического комплекса. // Электротехнические системы и комплексы. 01.01.2016 [Электронный ресурс] URL: <http://esik.magtu.ru/en/28-english/no-4-33-dec-2016/228-41.html> (дата обращения: 02.03.2025).
- [14] Лысенко О.А., Охотников А.А., Захаренко В.А. и Кобенко В.Ю. Исследование влияния алгоритмов формирования ШИМ пятиуровневых инверторов с активно-индуктивной нагрузкой на параметры выходного напряжения // Омский Научный Вестник. 6(168) (дек. 2019), 34–39. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2019-168-34-39>.
- [15] Ризванов Д.А., Чернышев Е.С. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении производственными ресурсами. // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 12 (часть 1) С. 46-51 URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39435> (дата обращения: 11.05.2025). DOI: <https://doi.org/10.17513/snt.39435>
- [16] Официальный сайт для обучения нейронной сети TensorFlow. [Электронный ресурс] URL: <https://www.tensorflow.org/?hl=ru> (дата обращения: 02.03.2025).
- [17] Официальный сайт для обучения нейронной сети PyTorch. [Электронный ресурс] URL: <https://pytorch.org/> (дата обращения: 02.03.2025).