

Точное нейронное предсказание для краткосрочного прогнозирования нагрузки оптимальной возобновляемой энергии

К. Околи¹, Я. А. Бекенева²

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

¹kokoli@stud.etu.ru, ²yabekeneva@etu.ru

Аннотация. Интеграция дискретных и непредсказуемых возобновляемых источников энергии в энергосистему создает серьезные проблемы, особенно с точки зрения поддержания стабильности сети. Точное краткосрочное прогнозирование нагрузки играет решающую роль в решении этих проблем. Это исследование направлено на повышение точности прогнозирования нагрузки за счет разработки усовершенствованной модели на основе нейронных прогнозов, которая эффективно включает данные о погоде. Используя исторические данные и соответствующие погодные переменные в процессе обучения модели, исследование направлено на оценку ее эффективности в улавливании как краткосрочных тенденций, так и долгосрочных сезонных моделей. Результаты этого исследования будут играть существенную роль для улучшения оперативного планирования и управления интеграцией возобновляемых источников энергии в энергосистему, что в конечном итоге будет способствовать более эффективной и надежной интеграции возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: краткосрочное прогнозирование нагрузки, интеграция возобновляемых источников энергии, нейронные сети, данные о погоде, NeuralProphet

I. ВВЕДЕНИЕ

Интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистему представляет собой серьезную проблему из-за их прерывистого и непредсказуемого характера [1]. Точное прогнозирование краткосрочного спроса на нагрузку играет решающую роль в управлении изменчивостью производства возобновляемой энергии и обеспечении стабильности сети. Традиционные методы прогнозирования нагрузки часто не могут уловить сложную динамику, на которую влияют погодные условия, что делает их менее эффективными в контексте интеграции возобновляемых источников энергии. Чтобы устранить это ограничение, методы машинного обучения, в частности нейронные сети, стали мощными инструментами для повышения точности прогнозирования нагрузки за счет использования данных о погоде [2]. Целью данного исследования является разработка модели на основе машинного обучения для краткосрочного прогнозирования нагрузки, использующей наборы данных о погоде. Используя данные об энергии из набора данных после обучения, модель стремится зафиксировать взаимосвязь между погодными условиями и потребностью в нагрузке. Нейронные сети предлагают возможность моделирования нелинейных отношений и сложных шаблонов [3], [4], что делает их подходящими для этой

задачи. Предлагаемая модель будет обучена с использованием исторических данных о нагрузке и погодных переменных, что позволит ей изучить основные зависимости и сделать точные прогнозы нагрузки. Использование нейронных сетей в прогнозировании нагрузки в последние годы привлекло значительное внимание из-за их способности фиксировать сложные взаимосвязи между входными и выходными данными. Способность обрабатывать большие наборы данных, адаптироваться к изменяющимся шаблонам и учиться на исторических данных делает нейронные сети многообещающим подходом для повышения точности прогнозирования нагрузки [5]–[7]. Исследование будет сосредоточено исключительно на архитектуре NeuralProphet, и, кроме того, модель будет обучена и проверена с использованием реальных наборов данных, что обеспечит ее актуальность и применимость в практических сценариях. Показатели оценки, такие как средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратическая ошибка (RMSE), будут использоваться для оценки точности и производительности модели. Результаты этого исследования могут значительно улучшить оперативное планирование и управление интеграцией возобновляемых источников энергии в энергосистему. Точное краткосрочное прогнозирование нагрузки может обеспечить более эффективное использование возобновляемых источников энергии, повысить стабильность сети и оптимизировать системы производства и хранения энергии. Кроме того, результаты могут способствовать развитию методов машинного обучения в области энергетических систем и стимулировать дальнейшие исследования в области прогнозирования нагрузки и интеграции возобновляемых источников энергии. С помощью этого исследования мы стремимся предоставить ценную информацию и практические решения для решения проблем, связанных с интеграцией возобновляемых источников энергии и прогнозированием нагрузки в технических системах.

Таким образом, новизна работы заключается в:

1. Разработке и внедрении модели на основе нейронных прогнозов для краткосрочного прогнозирования нагрузки.
2. Интеграции данных о погоде в качестве входных данных для модели нейронного пророка и оценить ее влияние на точность прогнозирования.

3. Объединении нейронных сетей, данных о погоде и прогнозировании нагрузки в контексте технических систем.

Это исследование предлагает новый подход к решению проблем интеграции возобновляемых источников энергии и оптимизации управления энергопотреблением. Выводы могут продвинуть область прогнозирования нагрузки и способствовать эффективному использованию возобновляемых источников энергии в контексте проблем управления в технических системах.

II. РЕЛЕВАНТНЫЕ РАБОТЫ

Несколько авторов провели исследования, пытаясь предсказать использование энергии и т.п. Однако очень немногие исследования показали использование метода краткосрочного прогнозирования. В исследовании Maduabuchi et al. [2] авторы провели исследования по оценке энергетического потенциала с помощью нейронных сетей. Хотя в их исследовании для обучения использовался ограниченный набор данных, они оптимизировали свою модель, обучив до 2000 скрытых нейронов, что привело к некоторым выбросам. В аналогичном исследовании Кухе и др. [5] была разработана модель прогнозирования глобальной солнечной радиации для Макурди, Нигерия. Модель искусственной нейронной сети с обратным распространением с прямой связью была разработана для прогнозирования солнечной радиации в Макурди, Нигерия. В качестве входных данных использовались метеорологические параметры, и модель продемонстрировала высокую надежность с низкими ошибками, что указывает на ее потенциал для прогнозирования солнечной радиации в местах с дефицитом данных. Хотя в исследовании использовались нейронные сети для прогнозирования солнечного излучения, в нем не указано, были ли предсказанные значения подтверждены наземными измерениями или фактическими данными солнечного излучения. Алер и др. [8] в своем исследовании сосредоточились на прогнозировании солнечной энергии с использованием моделей численного прогнозирования погоды. В исследовании изучается влияние использования разного количества узлов сетки в качестве входных данных для алгоритмов машинного обучения и методов выбора тестовых функций. Машины опорных векторов и регрессия с усилением градиента сравниваются с использованием данных Kaggle для Оклахомы. В другом исследовании Зенга и др. [9] их модель использует коэффициент пропуска атмосферы и метеорологические переменные в качестве входных данных и прогнозирует коэффициент пропуска атмосферы, который затем преобразуется в солнечную энергию. Модель превосходит модели нейронных сетей авторегрессии и радиальной базисной функции с точки зрения точности, подтверждая ее эффективность. Включение дополнительных метеорологических переменных, особенно небесного покрова, еще больше повышает точность прогнозов. Исследование подтверждает превосходство использования коэффициента пропуска для нормализации данных.

В заключение в обзоре литературы подчеркивается важность точного прогнозирования солнечной энергии, что необходимо для эффективной интеграции

возобновляемых источников энергии. Алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети [10], продемонстрировали свой потенциал в прогнозировании солнечной энергии на основе исторических данных и моделей численного прогнозирования погоды. Однако все еще есть аспекты, которые требуют дальнейшего изучения, особенно в контексте краткосрочного прогнозирования нагрузки для интеграции возобновляемых источников энергии [9]. Основываясь на выявленных в литературе пробелах, проведение исследований по краткосрочному прогнозированию нагрузки для интеграции возобновляемых источников энергии с использованием нейронных сетей может решить несколько ключевых задач. Используя взаимосвязь между данными о погоде, спросом на нагрузку и производством возобновляемой энергии, это исследование направлено на повышение точности и эффективности моделей прогнозирования нагрузки. Кроме того, интеграция нейронных сетей с данными о погоде может улучшить понимание динамики нагрузки, на которую влияют возобновляемые источники энергии, помогая оптимизировать управление энергопотреблением и стабильность сети. Благодаря точному прогнозированию нагрузки на короткие сроки можно эффективно использовать возобновляемые источники энергии, уменьшая зависимость от традиционных источников энергии и способствуя переходу на устойчивую энергетику. Следовательно, проведение исследований по краткосрочному прогнозированию нагрузки для интеграции возобновляемых источников энергии с использованием нейронных сетей заполняет важный пробел в исследованиях в этой области. Он дает возможность разработать передовые модели прогнозирования, которые могут способствовать эффективной интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему, оптимизировать энергетические системы и проложить путь к более устойчивому и устойчивому энергетическому будущему.

III. МЕТОДОЛОГИЯ

Методология включала предварительную обработку набора данных, обучение модели Neural Prophet и анализ результатов прогнозирования. Набор данных был очищен и преобразован в формат даты и времени. Модель Neural Prophet была обучена набору данных для захвата временных паттернов и взаимосвязей. Прогнозы нагрузки были созданы и сравнены с фактическими измерениями. Графики и визуализации использовались для анализа результатов, включая ежедневные, еженедельные и годовые закономерности. Набор данных содержал 196 777 точек данных, полученных из Kaggle. Различные компоненты NeuralProphet объединены в (1) [11]:

$$y(t) = g(t) + h(t) + s(t) + e(t) \quad (1)$$

где: $g(t)$ – функция моделирования тренда представляет собой универсальную математическую функцию, которая может быть определена либо как линейная функция, либо как логистическая функция; $h(t)$ – функция праздников учитывает влияние нерегулярных выходных дней; $s(t)$ – функция сезонности охватывает дневные, недельные и/или годовые закономерности и управляется с помощью терминов Фурье; $e(t)$ – фиксирует вариации ошибок, которые не учитываются моделью.

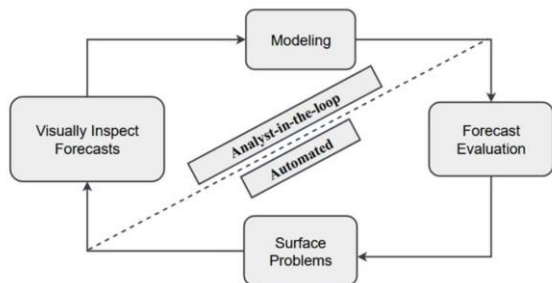


Рис. 1. Прогнозирование в NeuralProphet

IV. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В этом разделе мы представляем результаты, полученные в результате обучения модели. Компоненты нейронного прогноза, а именно ежедневная сезонность, еженедельная сезонность, годовая сезонность и тенденции, подчеркивают влияние нейронной сети на точность прогнозирования модели для будущих условий энергопотребления. Модель обучалась в течение 1000 эпох, и в ходе этого процесса зарегистрированный убыток составил 0,0163. Эти результаты демонстрируют эффективность подхода нейронного пророка в улучшении производительности модели и ее способности фиксировать ключевые временные закономерности и тенденции в данных.

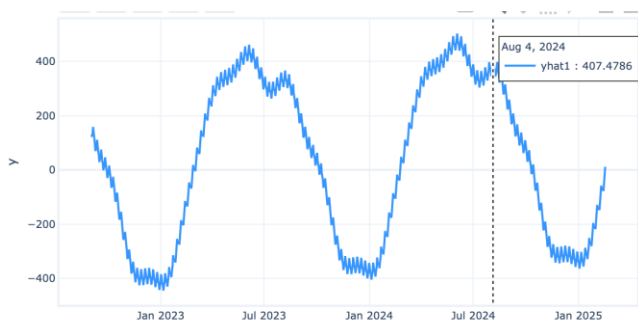


Рис. 2. Прогнозирование потребления энергии

Модель Neural Prophet успешно и точно генерировала прогнозы нагрузки с января 2023 года по январь 2025 года, при этом продолжительность прогнозов определялась пользовательскими входными данными прогноза. Производительность модели была оценена путем анализа сгенерированных графиков (рис. 3–6), где ось x представляла даты, а ось y представляла оценочные значения энергии на основе прогнозов. Модель продемонстрировала исключительные способности к обучению, поскольку она эффективно отражала закономерности и динамику, присутствующие в наборе данных.

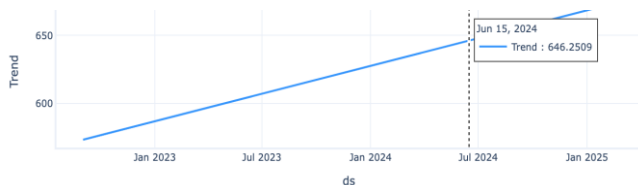


Рис. 3. Будущий тренд

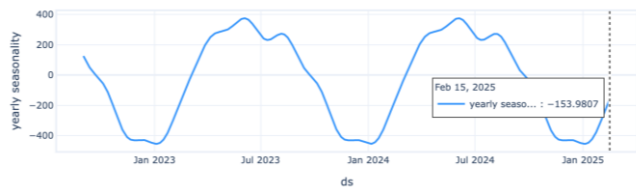


Рис. 4. Сезонность

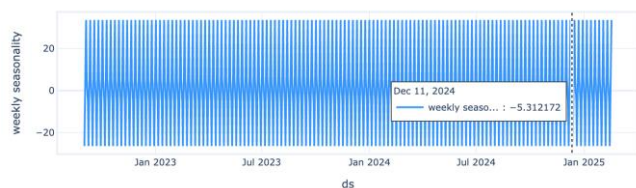


Рис. 5. Недельные изменения

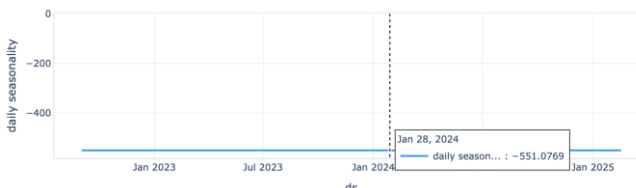


Рис. 6. Суточные изменения

Используя исторические данные и включив погодные переменные, модель Neural Prophet точно предсказала будущее потребление энергии. Сгенерированные прогнозы нагрузки предоставили ценную информацию об ожидаемых моделях энергопотребления в течение прогнозируемого периода. Влияние этих результатов имеет большое значение для различных заинтересованных сторон, участвующих в оптимальной интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему. Точные краткосрочные прогнозы нагрузки, полученные с помощью модели Neural Prophet, могут улучшить оперативное планирование и управление сетью. Операторы электросетей могут использовать эти прогнозы для эффективного распределения и балансирования возобновляемых источников энергии, оптимизации их использования и сведения к минимуму зависимости от невозобновляемых источников. Более того, наличие надежных прогнозов нагрузки позволяет лучше принимать решения относительно производства и распределения энергии.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эти прогнозы предоставляют ценную информацию об ожидаемом спросе на энергию и помогают в разработке стимулов и механизмов для содействия внедрению возобновляемых источников энергии. Коммунальные предприятия могут стратегически планировать производство возобновляемой энергии и соответствующим образом планировать техническое обслуживание. Это помогает повысить общую эффективность и надежность энергосистемы, что приводит к снижению затрат и повышению стабильности сети. Кроме того, политики и регулирующие органы могут использовать точные прогнозы нагрузки для разработки обоснованных политик и правил, которые облегчают интеграцию возобновляемых источников энергии. Кроме того, способность модели Neural Prophet генерировать прогнозы нагрузки на будущие годы обеспечивает преимущества долгосрочного планирования.

Специалисты по планированию энергетики и инвесторы могут принимать обоснованные решения относительно расширения инфраструктуры возобновляемых источников энергии с учетом прогнозируемого спроса на энергию в течение длительного периода. Это способствует устойчивому развитию и росту систем возобновляемой энергии. В заключение, результаты, полученные из прогнозов нагрузки модели Neural Prophesу, оказывают значительное влияние на различные заинтересованные стороны. Точные и надежные прогнозы позволяют эффективно использовать ресурсы возобновляемой энергии, улучшают управление сетью, поддерживают усилия по разработке политики и облегчают долгосрочное планирование интеграции возобновляемых источников энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] V. T. Achirgbenda, A. Kuhe, and K. Okoli, "Techno-economic feasibility assessment of a solar-biomass-diesel energy system for a remote rural health facility in Nigeria," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, vol. 00, no. 00, pp. 1–18, 2020, doi: 10.1080/15567036.2020.1813848.
- [2] C. Maduabuchi et al., "Renewable Energy Potential Estimation Using Climatic-Weather-Forecasting Machine Learning Algorithms," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 4, p. 1603, Feb. 2023, doi: 10.3390/en16041603.
- [3] A. Nugaliyadde, U. Somaratne, and K. W. Wong, "Predicting Electricity Consumption using Deep Recurrent Neural Networks," 2019. [Online]. Available: <https://github.com/anupiyam/Time-series-Recurrent-Neural-Network>
- [4] C. Maduabuchi, C. Eneh, A. A. Alrobaian, and M. Alkhedher, "Deep neural networks for quick and precise geometry optimization of segmented thermoelectric generators," *Energy*, vol. 263, p. 125889, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125889>.
- [5] A. Kuhe, V. Terhempa Achirgbenda, and M. Agada, "Global Solar Radiation Prediction for Makurdi, Nigeria Using Feed Forward Backward Propagation Neural Network," *Journal of Renewable Energy and Environment*, vol. 5, no. 1, pp. 51–55, Jan. 2018, doi: 10.30501/JREE.2018.88512.
- [6] K. K. Ikpambese, T. D. Ipilakya, and V. T. Achirgbenda, "Artificial Neural Network Modeling of Job Satisfaction: A Case Study of ICT, Federal University of Agriculture, Makurdi," *Int J Appl Inf Syst*, vol. 11, no. 11, pp. 10–15, Mar. 2017, doi: 10.5120/IJAIS2017451651.
- [7] C. Maduabuchi, M. Alanazi, and A. Alzahmi, "Accurate prophecy of photovoltaic-segmented thermoelectric generator's performance using a neural network that feeds on finite element-generated data," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 32, p. 100905, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100905>.
- [8] R. Aler, R. Martín, J. M. Valls, and I. M. Galván, "A study of machine learning techniques for daily solar energy forecasting using numerical weather models," *Studies in Computational Intelligence*, vol. 570, pp. 269–278, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-10422-5_29/COVER.
- [9] J. Zeng and W. Qiao, "Short-term solar power prediction using a support vector machine," *Renew Energy*, vol. 52, pp. 118–127, Apr. 2013, doi: 10.1016/J.RENENE.2012.10.009.
- [10] E. Grossi and M. Buscema, "Introduction to artificial neural networks," *Eur J Gastroenterol Hepatol*, vol. 19, pp. 1046–1054, Jan. 2008, doi: 10.1097/MEG.0b013e3282f198a0.
- [11] M. J. A. Shohan, M. O. Faruque, and S. Y. Foo, "Forecasting of Electric Load Using a Hybrid LSTM-Neural Prophet Model," *Energies* 2022, Vol. 15, Page 2158, vol. 15, no. 6, p. 2158, Mar. 2022, doi: 10.3390/EN15062158.