УДК 621.311.24

Исследование систем управления и контроля ветрогенераторов на основе прогнозирования характеристик ветра для обеспечения оптимальной работы

Жураев Иззатилла Рахматулла угли zhuraevi@student.bmstu.ru
Орькин Владислав Николаевич orkinvn@student.bmstu.ru
Гаврюшин Сергей Сергеевич gss@bmstu.ru
Мурашов Михаил Владимирович murashov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В данной работе рассматривается система управления и контроля ветрогенераторов с помощью алгоритма прогнозирования погодных условий для обеспечения оптимальной выработки мощности ветряных электростанций. Проанализирован принцип работы систем безопасности и контроля горизонтально-осевых ветроэнергетических установок. Описывается интеллектуальный алгоритм прогнозирования и обработки характеристик ветра. Выполнено сравнение основных моделей прогнозирования. Приведен пример работы по повышению выходной мощности горизонтально-осевых ветроэнергетических установок с помощью комбинированной системы управления на основе прогнозирования параметров ветра.

Ключевые слова: *возобновляемая энергия, ветроэнергетическая установка, алгоритм прогнозирования, система рыскания ветрогенератора, модель* SARIMA

Введение. Обеспечение бесперебойного функционирования ветрогенераторов представляет собой нетривиальную задачу, которая требует разработки и внедрения эффективной системы контроля и управления. Внедрение методов искусственного интеллекта в управление и оптимизацию работы ветряных электростанций является ключевым аспектом в решении данной задачи.

Система управления и контроля ветроэнергетическими установками. Главными задачами рассматриваемой системы являются минимизация динамических и статических механических нагрузок, оптимизация выработки энергии и обеспечение непрерывной подачи электроэнергии в сеть [1]. Основные функции системы управления ветрогенератором заключаются в обработке информации, поступающей от датчиков, и генерации управляющих сигналов для исполнительных механизмов [2].

Система безопасности может сработать, когда скорость и направление ветра, а также выходные параметры ветрогенератора выходят за пределы допустимых значений. В таких случаях устройство управления обрабатывает данные от датчиков и посылает сигнал остановки на тормозной блок, который блокирует главный вал, останавливая тем самым работу ветроустановки (рис. 1).

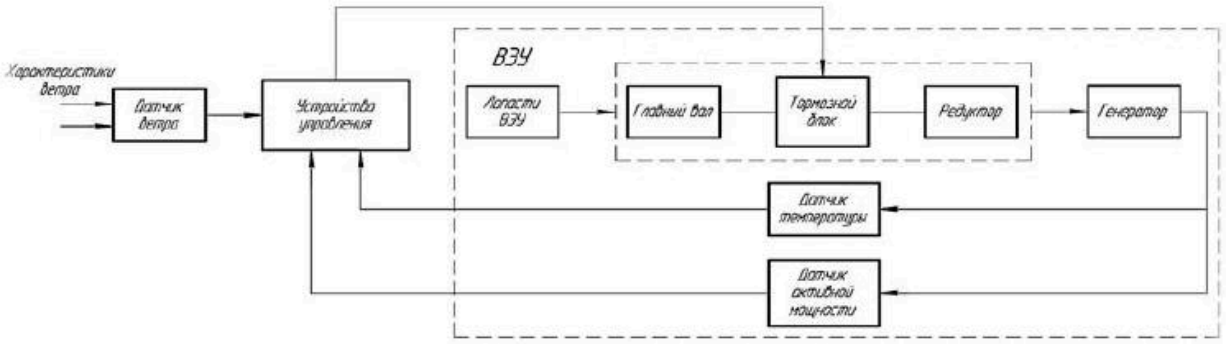


Рис. 1. Принципиальная схема системы контроля и безопасности

Комбинированный метод управления, включающий в себя систему управления рысканием и метод отслеживания точки максимальной мощности применяется для устранения влияния угла рыскания на выходную мощность [3]. Для повышения эффективности данного метода предлагается внед**рить подсистему прогнозирования ветровых характеристик (рис. 2).**

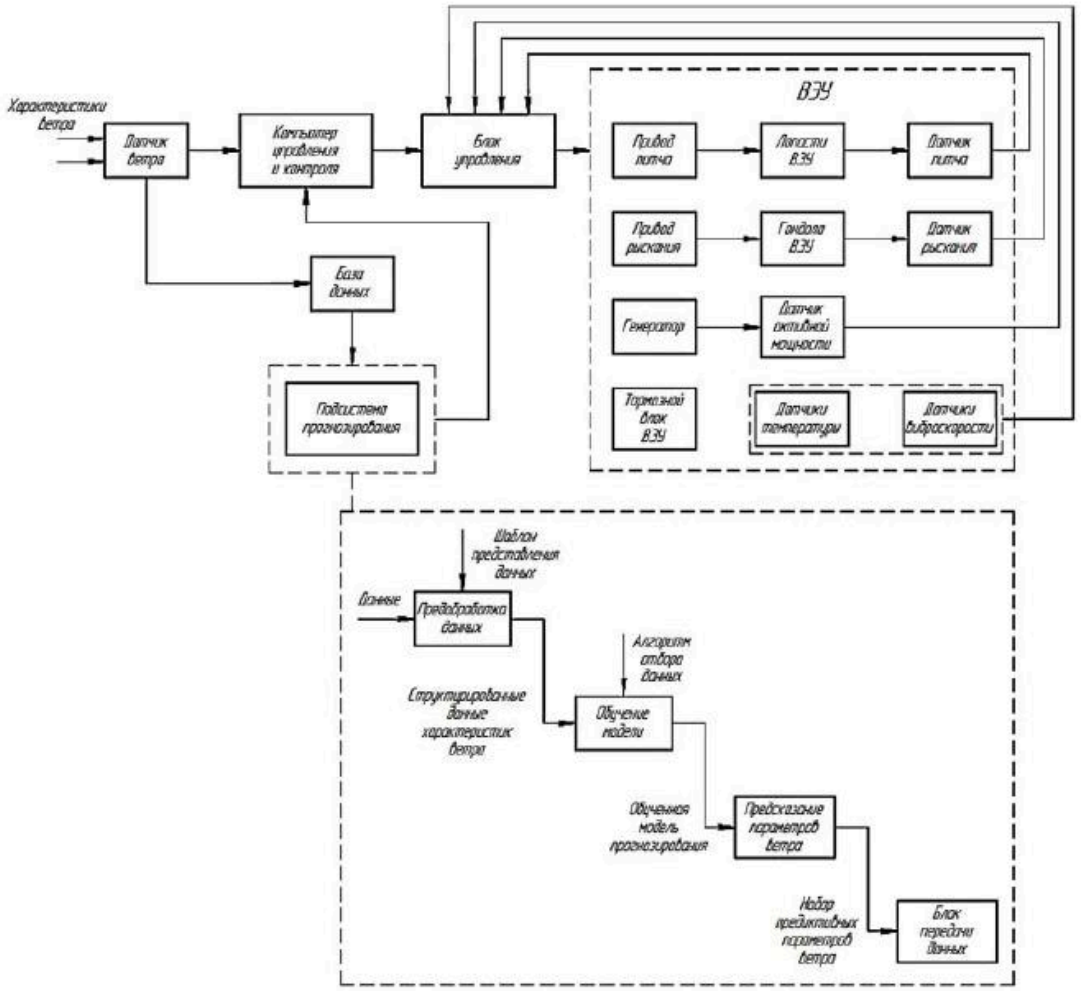


Рис. 2. Принципиальная схема разработанной системы управления и контроля

На основе базы данных подсистема прогнозирования производит краткосрочное предсказание направления и скорости ветра. После обработки результатов прогноза и показателей датчика ветра компьютер управления и контроля посылает информацию на блок управления. Блок управления в зависимости от поступивших данных отправляет необходимый сигнал управления на ветроэнергетическую установку, тем самым обеспечивая оптимальную работу ветрогенератора.

Прогнозирование характеристик ветра. Алгоритм использует модели прогнозирования временных рядов для оценки параметров ветра с целью предсказания работы ветряной электростанции на основе исторических данных о характеристиках ветра. Алгоритм выполняется в три этапа: предварительная обработка данных, обучение модели прогнозирования и предсказание погодного параметра. В ходе работы рассмотрены модели прогнозирования на основе сверточной нейронной сети [4], рекуррентной нейронной сети [5], гибридная модель, модель SARIMA [6] и NeuralProphet. В процессе тестирования было выявлено, что гибридная модель обладает наибольшей эффективностью в работе (см. таблица, рис. 3) и может обеспечить выработку мощности ветрогенератора на уровне 50 % от его идеальной производительности (рис. 4).

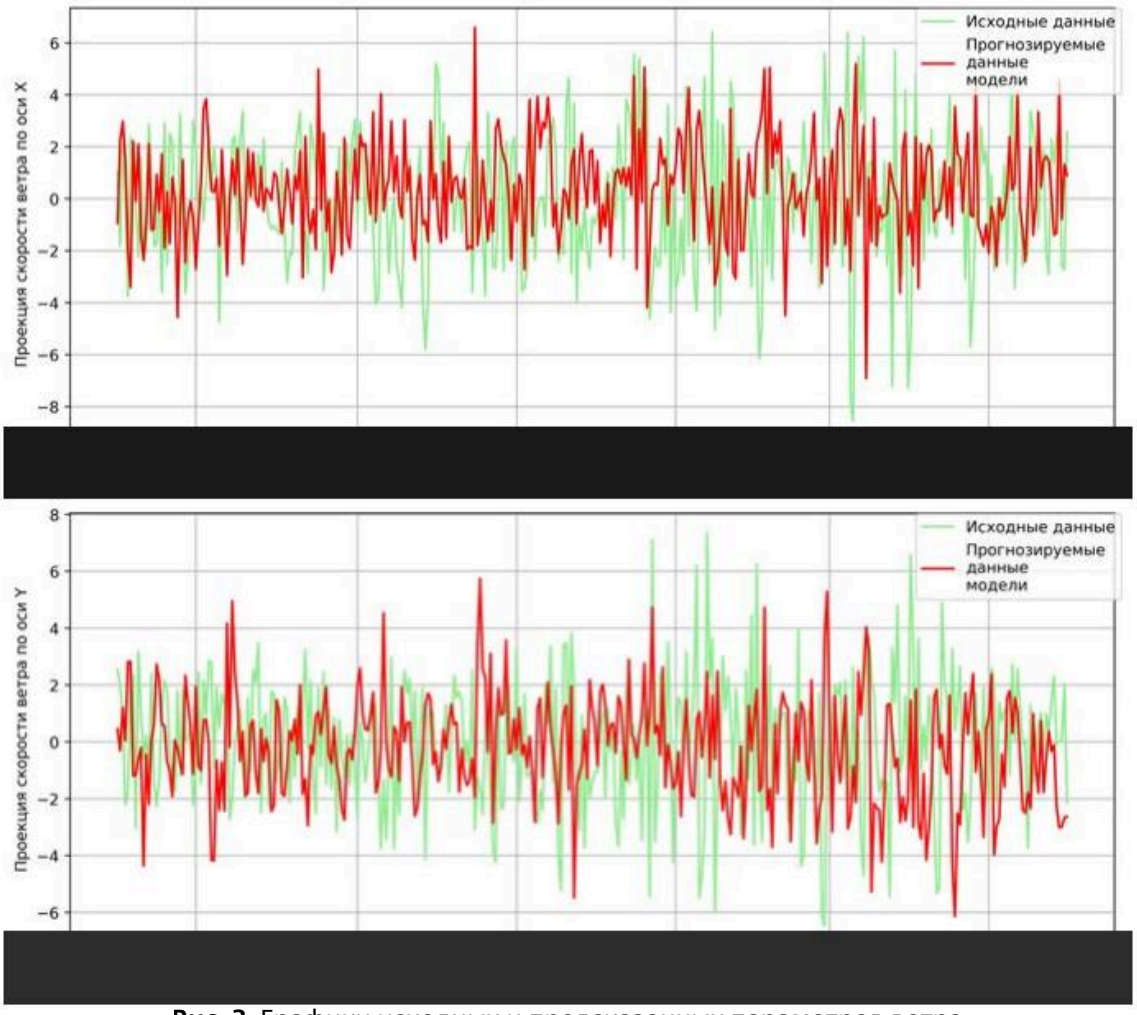


Рис. 3. Графики исходных и предсказанных параметров ветра

Оценочные данные моделей прогнозирования

Модели	Среднеквадратичная ошибка проекции скорости ветра	
	по оси X	по оси Y
LSTM	2,72	1,83
CNN	4,33	3,94
CNN-LSTM	2,14	2,12
SARIMA	7,9	8,7
NeuralProphet	12,9	10,24

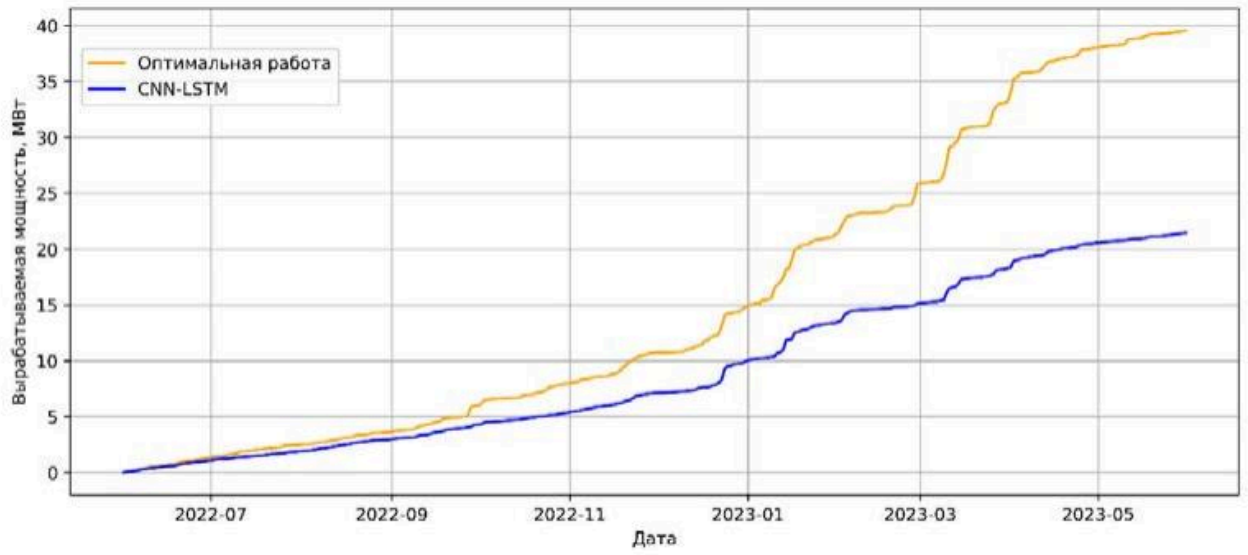


Рис. 4. График прогноза вырабатываемой мощности

Заключение. По результатам проведенного исследования было выяснено, что комбинированный метод управления ветрогенератором на основе прогнозирования характеристик ветра позволяет повысить эффективность ветроэнергетической установки. При анализе оценочных данных выявилось, что гибридная модель, основанная на сверточной и рекуррентной нейронных сетях на основе долгой краткосрочной памяти, работает точнее, эффективнее и приемлема по времени работы.

Список источников

[1] Lubosny Z., Bialek J.W. Supervisory control of a wind farm. IEEE Trans. Power Syst., 2007, vol. 22, pp. 985–994. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2007.901101

[2] Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. Wind energy handbook. John Wiley & Sons Ltd., 2001, pp. 496–534.

[3] Yusong Y., Solomin E.V., Ryavkin G.N. Simulation of the Wind Turbine Yaw Control System. Bulletin of MPEI, 2021, vol. 1, pp. 44–55. https://doi.org/10.24160/1993-6982-2021-1-44-55

[4] Калик М.А., Дайнеко А.С., Драгун К.В. Обзор некоторых разновидностей нейронных сетей. *Столыпинский вестник*, 2023, № 11, с. 5516–5521.

[5] Якименко В.В., Савостьянова И.Л. Архитектура модели LSTM для прогнозирования временных рядов редких событий. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. VIII *Междунар. науч.-практ. конф., посв. Дню космонавтики*: *сб. матер*. Красноярск, СибГУ им. академика М.Ф. Решетнева, 2022, т. 2, с. 533–535.

[6] Шемякин С.Н., Пестов И.Е., Ильин М.В., Рудченко Н.А. Теоретическая оценка использования математических методов прогнозирования загрузки виртуальной инфраструктуры. *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*, 2021, т. 13, № 4, с. 66–75. https://doi.org/10.36724/2409-5419-2021-13-4-66-75

Research of control and monitoring systems for wind turbines based on wind characteristic forecasting for optimal operation

Juraev Izzatilla zhuraevi@student.bmstu.ru
Orkin Vladislav N. orkinvn@student.bmstu.ru
Gavriushin Sergey S. gss@bmstu.ru
Murashov Mikhail V. murashov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This paper deals with the control and monitoring system of wind turbines using weather forecasting algorithm to ensure optimal power generation of wind farms. The principle of operation of safety and control systems of horizontal-axis wind turbines is analyzed. An intelligent algorithm for forecasting and processing of wind characteristics is described. A comparison of the main forecasting models is performed. An example of work on increasing the power output of horizontal-axis wind turbines by using a combined control system based on wind parameter forecasting is given.

Keywords: renewable energy, wind turbine, forecasting algorithm, wind turbine yaw system, SARIMA model