

УДК 621.184:004.89

Оптимизация эксплуатации энергетических систем с использованием цифровых двойников и нейронных сетей

Кашанов Никита Андреевич¹

nkashanov@gmail.com

Милосердов Владислав Олегович^{1,2}

miloserdovvo@bmstu.ru

SPIN-код: 1394-4940

¹ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия² ЗАО НПВП «Турбокон», Калуга, Россия

Рассмотрены современные технологии применения цифровых двойников и нейронных сетей в энергетике для повышения эффективности работы сложных инженерных систем. Особое внимание уделено примерам повышения точности предсказаний и снижения энергозатрат в процессе эксплуатации. Представлены результаты, показывающие улучшение точности моделирования до 15–20 % и оптимизацию энергозатрат на 10 %. Сделаны выводы о перспективности данных технологий для повышения надежности, устойчивости и эффективности энергетических объектов.

Ключевые слова: цифровые двойники, нейронные сети, энергетические системы, оптимизация, сухая вентиляторная градирня

В последние годы использование цифровых двойников и нейронных сетей в различных областях энергетики становится все более распространенным. Эти технологии обеспечивают новые возможности для оптимизации проектирования и эксплуатации сложных систем. Цель работы заключается в исследовании и анализе современных подходов к использованию цифровых двойников и нейронных сетей для управления и оптимизации энергетических систем. В работе рассмотрены различные технологии и методы, направленные на повышение эффективности и надежности работы компонентов энергетической инфраструктуры. Особое внимание уделяется применению этих технологий для оптимизации функционирования сухой вентиляторной градирни (СВГ), которая играет ключевую роль в системах охлаждения энергоблоков, обеспечивая эффективное управление тепловыми процессами.

СВГ является важным элементом систем охлаждения в энергетике. Она служит для отвода тепла от оборудования посредством теплообмена с воздухом. Однако эксплуатация СВГ сопряжена с рядом проблем, включая неэффективность охлаждения в условиях меняющейся окружающей среды и трудности поддержания стабильных рабочих режимов. Использование цифрового двойника может значительно повысить эффективность эксплуатации СВГ, позволяя в реальном времени моделировать поведение системы и прогнозировать ее состояние, что способствует своевременному управлению и предотвращению возможных сбоев.

Цифровые двойники, являясь виртуальными моделями физических объектов, играют важную роль в управлении энергетическими объектами. В ис-

следованиях, посвященных моделированию теплообменников, было выявлено, что использование цифровых двойников в сочетании с нейронными сетями позволяет сократить затраты на обслуживание и снизить количество внеплановых остановок оборудования [1]. В такой системе цифровой двойник предоставляет данные о текущем состоянии объекта в формате временных рядов, которые затем анализируются нейронной сетью для предсказания потенциальных отказов с точностью 15–20 %, что существенно повышает надежность системы [1, 2].

Применение нейронных сетей для моделирования энергетических процессов дает возможность улучшить точность предсказаний и снизить погрешность моделирования. В работе [3] были использованы основные термодинамические параметры работы парогенератора для создания нейросетевой модели. Обучение модели на ограниченном наборе примеров позволило достигнуть средней ошибки предсказаний в пределах 10–11 % для областей, не включенных в обучение. Это демонстрирует потенциал нейросетевого подхода. В работе [4] модели на основе нейронных сетей помогли оптимизировать процессы теплопередачи, снижая энергозатраты на 10 %. Эти результаты подтверждают высокую эффективность применения нейронных сетей в эксплуатации сложных систем.

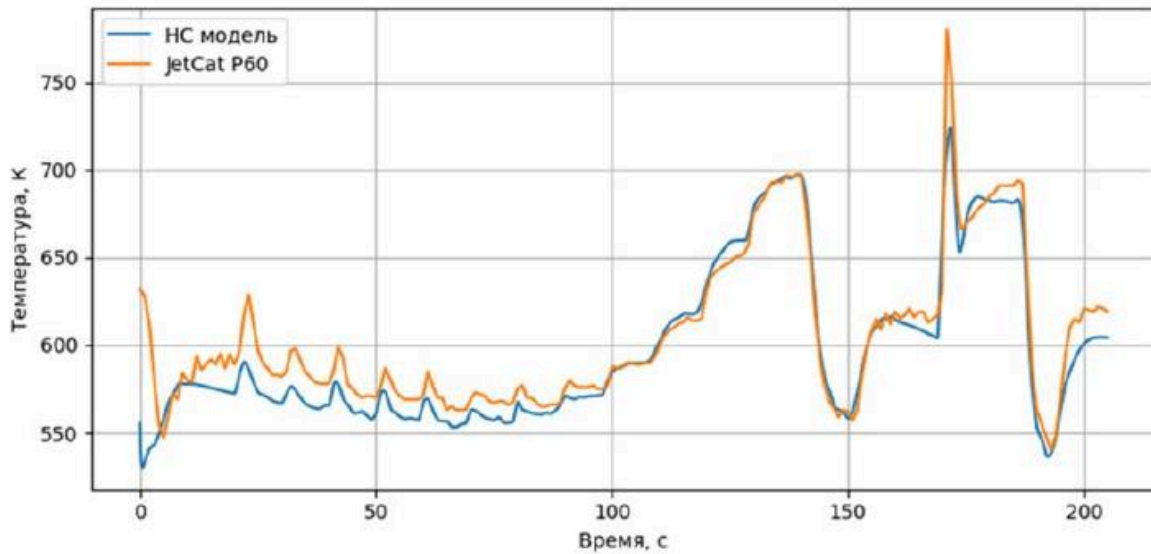
Применение цифровых двойников совместно с нейронными сетями в процессе эксплуатации градирен может обеспечить следующие преимущества:

- точность прогнозирования отказов. Использование нейронных сетей для анализа временных рядов работы градирни позволяет точно прогнозировать потенциальные сбои, деградацию эксплуатационных показателей и сигнализировать о необходимости технического обслуживания. Модели на основе LSTM демонстрируют снижение MAE в сравнении с традиционными методами [5];

- оптимизация режимов работы. Модели, имеющие цифровых двойников, способны в реальном времени адаптировать параметры работы градирни в зависимости от внешних условий, таких как температура окружающей среды, нагрузка, нештатные ситуации. В этом процессе нейронные сети играют ключевую роль, анализируя данные, поступающие от цифрового двойника, и прогнозируя оптимальные параметры системы. В одном из исследований такой подход позволил повысить эффективность системы на 10 %, что привело к снижению энергозатрат [1];

- сокращение времени на расчеты и прогнозы. Модели, основанные на графовых нейронных сетях, способны производить прогнозы с высокой точностью на GPU (Graphics Processing Unit, графический процессор), что делает такие подходы масштабируемыми и применимыми для крупномасштабных систем [6].

Для демонстрации возможностей предсказания параметров представлен рисунок, на котором показано моделирование температуры газа за турбиной малогабаритного газотурбинного двигателя JetCat P60.



Результаты моделирования температуры за турбиной

На рисунке показаны результаты моделирования температуры с использованием модели LSTM. Две кривые отражают прогнозируемые и фактические значения температуры, демонстрируя точность модели при прогнозировании температурных скачков, что особенно важно для переходных процессов, характерных для работы малогабаритных газотурбинных двигателей. MAE (Mean Absolute Error, средняя абсолютная ошибка — это среднее арифметическое отклонение прогнозируемых значений от фактических) для модели LSTM составила 2,72 % [5]. Такая модель служит примером для применения аналогичных подходов в системе СВГ, где также требуется точное управление температурными параметрами.

Таким образом, применение цифровых двойников и нейронных сетей в энергетике открывает широкие возможности для повышения эффективности управления и проектирования систем. Оптимизация эксплуатационных процессов с помощью нейронных сетей и цифровых двойников может существенно снизить затраты на обслуживание, повысить надежность работы оборудования и уменьшить энергозатраты. Эти технологии обладают высоким потенциалом для дальнейшего развития в области энергетики.

Литература

- [1] Lavrov N.A., Khutsieva S.I., Shananin V.A. Use of neural networks for dynamic heat exchanger modeling. Chemical and petroleum engineering, 2023, vol. 58, no. 11–12, pp. 917–924. <https://doi.org/10.1007/s10556-023-01183-8>
- [2] Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. White Paper, 2014.
- [3] Miloserdov V.O., Gorelov D.A., Korlyakova M.O. Construction of a predictive model of a steam generator experimental stand based on the organic rankine cycle. Lecture notes in mechanical engineering, 2022, pp. 103–109. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9376-2_10
- [4] Vodeniktov A., Chichirova N., Melnikova V. Experimental assessment of the condenser at off-design modes. Case studies in thermal engineering, 2021, vol. 28, art. no. 101457. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101457>

- [5] Кузнецов А.В., Макарьянц Г.М. Динамическая модель газотурбинного двигателя на основе структуры LSTM с изменяемой памятью. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2020, т. 19, № 2, с. 38–52. <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2020-19-2-38-52>
- [6] Li S., Zhang M., Piggott M.D. End-to-end wind turbine wake modelling with deep graph representation learning. *Applied Energy*, 2023, vol. 339, art. no. 120928. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120928>

Optimization of the operation of energy systems using digital twins and neural networks

Kashanov N.A.¹

nkashanov@gmail.com

Miloserdov V.O.^{1,2}

miloserdovvo@bmstu.ru

SPIN-code: 1394-4940

¹ *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

² *CJSC SPC "Turbocon", Kaluga, Russia*

Modern technologies for the use of digital twins and neural networks in the energy sector to improve the efficiency of complex engineering systems are considered. Special attention is paid to examples of improving the accuracy of predictions and reducing energy consumption during operation. The results are presented showing an improvement in modeling accuracy of up to 15–20 % and an optimization of energy consumption by 10 %. Conclusions are drawn about the prospects of these technologies for improving the reliability, stability and efficiency of energy facilities.

Keywords: digital twins, neural networks, energy systems, optimization, dry fan cooling tower