

УДК 620.92

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Галушко О.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – преподаватель Голубева А.С.

(Университет ИТМО)

### Введение

Одним из наиболее значимых трендов последних лет в области энергетики является рост использования возобновляемых источников энергии. К концу 2024 года общая установленная мощность электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, достигла 4448,1 ГВт. Это составляет 46% от всей установленной мощности всех мировых электростанций [1].

С другой стороны, многие возобновляемые источники энергии по-прежнему имеют низкие коэффициенты эффективности и нуждаются в оптимизации работы. Использование современных технологий, цифровизация и развитие искусственного интеллекта значительно способствуют повышению эффективности использования возобновляемых источников энергии. Высоким потенциалом для мониторинга и оптимизации работы электростанций обладают цифровые двойники. В данной работе рассматривается возможность использования цифровых двойников для повышения энергетической эффективности электростанций, работающих на основе фотоэлектрических солнечных панелей.

### Основная часть

Цифровой двойник солнечной электростанции представляет собой виртуальную модель с двунаправленным потоком данных, которая в реальном времени воспроизводит показатели физической станции. В качестве входных данных используется информация с датчиков и информация о погодных условиях. На основе этих данных, а также математических моделей система прогнозирует выработку электроэнергии, а также способствует раннему обнаружению неисправностей, повышает эффективность работы и ускоряет техническое обслуживание [2].

Для сбора входных данных в цифровых двойниках используются датчики, считывающие различные показатели, влияющие на выработку электроэнергии солнечными панелями. В первую очередь – это датчики интенсивности солнечного излучения (пиранометры). Также могут использоваться сенсоры, собирающие информацию об окружающей среде, – датчики атмосферного давления, влажности, скорости ветра [3].

Эффективность работы солнечных панелей также сильно зависит от рабочей температуры и перегрева. Поэтому используются термодатчики для измерения температуры поверхности панели и температуры окружающей среды [4].

Для анализа показателей выхода электрического тока используются датчики напряжения, тока и мощности. Если система использует преобразователи постоянного тока в переменный, то датчики устанавливаются как на выходе с солнечных панелей, так и на выходе с инвертора, чтобы анализировать эффективность работы всех узлов системы.

Данные собираются в течение некоторого времени (от нескольких недель до нескольких месяцев), для того чтобы из них можно было сформировать выборку для обучения модели. Для создания модели машинного обучения, как правило, используется язык программирования Python с библиотеками scikit-learn, PyTorch или TensorFlow. На основе полученных исторических данных модель обучается и в дальнейшем оптимизирует работу станции. Модель получает данные с датчиков в режиме реального времени и может сделать прогноз относительно выработки электроэнергии или предупредить о неисправности исходя из полученных параметров. Визуализация реализуется при помощи таких программных средств, как Node-RED и Grafana. Они выводят информацию с датчиков в виде графиков и дашбордов, что позволяет оператору в читаемом визуализированном формате следить за

состоянием станции и оперативно реагировать на предупреждения от модели [3].

### **Выводы**

Использование цифровых двойников помогает повысить общую эффективность работы электростанции на 15-25% благодаря прогнозированию выработки электроэнергии и раннем выявлении неисправностей [3]. Кроме того, показатели с датчиков позволяют точнее обнаруживать поломки и производить более точечное техобслуживание, что снижает время простоя станции. Однако для качественной работы системы необходимо использование большого количества датчиков, а также большая выборка исторических данных с высокой частотой измерений. При недостатке данных присутствует риск переобучения модели и вследствие этого снижения точности и стабильности работы всей системы [2]. Также стоит отметить, что при работе с большим объемом онлайн-данных может потребоваться использование больших вычислительных мощностей. Это может сказаться на итоговой стоимости и экономической эффективности цифрового двойника.

### **Литература**

1. IRENA. Renewable capacity statistics 2025 [Электронный ресурс] / International Renewable Energy Agency. – 2025. – URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA\\_DAT\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2025.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Statistics_2025.pdf) (дата обращения: 03.02.2026).
2. Olayiwola O., Cali U., Elsdon M., Yadav P. Enhanced Solar Photovoltaic System Management and Integration: The Digital Twin Concept [Электронный ресурс] // Solar. – 2025. – Vol. 5, № 1. – Art. № 7. – DOI: 10.3390/solar5010007. – URL: <https://www.mdpi.com/2673-9941/5/1/7> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Digital Twins Transform Solar Energy: Real-Time Optimization That Actually Works [Электронный ресурс] // Euro Solar. – 2025. – URL: <https://www.eurosolar.com.au/technology-innovation-and-advancement/digital-and-smart-systems/digital-twins-transform-solar-energy-real-time-optimization-that-actually-works/> (дата обращения: 12.02.2026).
4. Shahría S., Ullah M.H., Mashud M., Mokther A.H., Hoq E., Rahman M.M. Effect of Temperature and Solar Panel Position on Solar PV System Performance: A Review [Электронный ресурс] // Energy and Thermofluids Engineering. – 2022. – Vol. 2. – P. 39-48. – DOI: <https://doi.org/10.38208/ete.v2.729> – URL: <https://www.asps-journals.com/index.php/ete/article/view/729> (дата обращения: 12.02.2026).