Цифровой двойник технологического участка как инструмент снижения производственных отходов в машиностроении

Научный руководитель Сирожидинов Шамилидин Икромжонович – старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»
Зуфаров Насруллох Анварович – студент 2-го курса группы 59-24 кафедры «Технология машиностроения»
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Республика Узбекистан, г. Ташкент

В условиях развития концепции Industry 4.0 машиностроительные предприятия активно внедряют цифровые технологии, направленные на повышение эффективности производства и снижение экологической нагрузки. Одним из наиболее перспективных решений является применение цифровых двойников технологических участков, позволяющих оптимизировать производственные процессы и уменьшать количество отходов.

Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель производственной системы, синхронизированную с реальным оборудованием посредством датчиков, систем мониторинга и промышленного интернета вещей (IIoT). В машиностроении данная технология используется для моделирования работы станков с ЧПУ, анализа технологических процессов и прогнозирования состояния оборудования.

Одной из основных проблем современного машиностроения остается высокий уровень производственных потерь, связанных с браком, износом инструмента, ошибками настройки оборудования и простоями. По данным промышленных исследований, до 20–30 % потерь на производстве связано с неэффективным использованием ресурсов. Применение цифровых двойников позволяет существенно сократить данные показатели за счет анализа параметров обработки и своевременного выявления отклонений технологического процесса.

Наиболее эффективно цифровые двойники применяются при управлении оборудованием с ЧПУ. На основе данных о вибрации, температуре, нагрузке шпинделя и энергопотреблении формируется цифровая модель технологического участка. Использование методов машинного обучения и предиктивной аналитики позволяет прогнозировать износ режущего инструмента, предотвращать аварийные остановки и снижать вероятность возникновения дефектов обработки.

Согласно данным Deloitte, внедрение цифровых двойников позволяет снизить количество производственных дефектов на 15–25 %, уменьшить время простоя оборудования до 30 % и сократить энергопотребление на 8–12 %. Дополнительным преимуществом является возможность проведения виртуальных испытаний и оптимизации технологических процессов без остановки реального производства, что снижает расход материалов и затраты на экспериментальные работы.

Технологическая структура цифрового двойника включает систему сбора данных, программную платформу моделирования и аналитический модуль. Для реализации подобных систем применяются CAD/CAM/CAE-комплексы, Siemens NX, ANSYS Twin Builder, MATLAB Simulink и другие цифровые платформы.

Таким образом, цифровые двойники являются эффективным инструментом повышения производительности и экологической устойчивости машиностроительных предприятий. Использование интеллектуального анализа данных и технологий искусственного интеллекта позволяет минимизировать производственные отходы, повысить качество продукции и обеспечить переход к интеллектуальному производству нового поколения.

Библиография

1. Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak A. *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems, 2018.
2. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. *A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems*. Procedia Manufacturing, 2017.
3. Deloitte Insights. *Digital Twins: Bridging the Physical and Digital*, 2022.
4. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters, 2015.
5. ISO 23247:2021 — Digital Twin Framework for Manufacturing.
6. Аверченков В.И. Индустрия 4.0 и цифровизация производства. — СПб.: Питер, 2020.
7. Гаврилов А.Н. Интеллектуальные производственные системы в машиностроении // Вестник машиностроения, 2022.