

В связи с увеличением числа выпускаемых СБШ на предприятии (планируется 24 единицы в год), поставлена цель уменьшить трудоемкость изготовления данных деталей. Этого можно достичь путем изменения технологии изготовления (применения литья), а также изменением конструкции детали (объединением всех деталей узла, за исключением цапф). На рисунке 3 представлена конструкция модернизированной детали «Траверса литая».

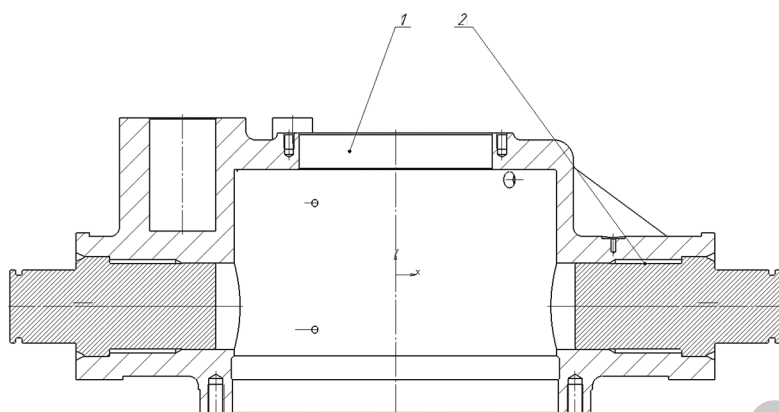


Рисунок 3 — Траверса литая:
1 — траверса; 2 — цапфа

Заключение. Проведена оптимизация конструкции детали «Траверса» станка СБШ-250-32, позволяющая уменьшить трудоемкость ее изготовления. Модернизация в представленном виде позволит сократить время изготовления детали в 2 раза, а также снизить себестоимость изготовления одной единицы примерно на 60 %.

Список цитируемых источников

1. Буровые станки на карьерах : конструкции, эксплуатация, расчет : учебное пособие / Г. И. Козовой, В. С. Квагинидзе, Ю. А. Антонов [и др.]. – Москва : Горная книга, 2011. – 292 с.

УДК 004.896

А. К. Крамаренко, Е. С. Палто

*Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Республика Беларусь*

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ И ИИ: СКВОЗНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Введение. За последние десять лет термин «цифровой двойник» (далее — ЦД) прочно вошёл в лексику инженеров, консультантов и продавцов программного обеспечения. Однако рост популярности сопровождается и ростом недопонимания. Ключевое недоразумение состоит в попытке представить ЦД как некую универсальную «чёрную коробку», способную волшебным образом сопровождать объект от идеи до утилизации.

В действительности цифровой двойник — это цифровая модель, которая неразрывно сопряжена с конкретным физическим прототипом двусторонними потоками данных. Новизна концепции заключается не в самой идее моделирования, а в степени и автоматизации этой связи. Интеграция же алгоритмов искусственного интеллекта (далее — ИИ) превращает двойника в активного советчика, способного самого находить оптимальные решения на различных этапах жизненного цикла сложной технической системы (далее — СТС) [1, с. 3]. Кроме того, ИИ позволяет внедрять в промышленности системы предиктивного обслуживания, которые диагностируют состояние оборудования и выявляют потенциальные сбои или поломки [2, с. 32]. Что отлично подходит для симуляции данных аспектов в ЦД. В данном исследовании будет рассмотрено, каким образом и почему тандем ЦД и ИИ целесообразно рассматривать как инструмент сквозной непрерывной оптимизации, а не как очередной маркетинговый ярлык.

Основная часть. Корректное осмысление цифровых двойников требует критического пересмотра ключевого заблуждения, которое регулярно встречается при упоминании ЦД. Наиболее распространённый миф формулируется следующим образом: «Цифровые двойники нужны только инженерам». На практике после ввода объекта в эксплуатацию главным потребителем данных становится сервисная служба, а затем — логистические подразделения, экологи, страховщики и другие заинтересованные специалисты.

Следовательно, цифровой двойник эволюционирует из узкоспециализированного инженерного инструмента в корпоративный актив, описывающий и оптимизирующий поток создаваемой ценности на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Абстрактную архитектуру цифрового двойника с интегрированным ИИ можно изложить как пяти-уровневую модель; характерное содержательное наполнение каждого уровня представлено в таблице 1.

Важно отметить, что потоки первичных сигналов, формируемых сенсорной сетью и исполнительными механизмами физического объекта (F0), дискретизируются, синхронизируются по единой временной шкале и подвергаются первичной фильтрации, превращаясь в семантически маркированные временные ряды слоя данных (F1). Контекстуализированные телеметрические массивы используются для параметрической идентификации и калибровки геометрических, физических и логико-функциональных моделей слоя цифрового двойника (F2), формируя изоморфное цифровое состояние объекта в реальном времени. Согласованная модель генерирует информативные признаки и синтетические траектории, обеспечивая непрерывное обучение алгоритмов искусственного интеллекта (F3), которые адаптивно оценивают остаточный ресурс, вероятности отказов и оптимальные управляющие политики с учётом концептуального дрейфа и модификации целевых показателей. Прогнозно-оптимизационные векторы, скорректированные на апостериорные неопределённости и множественные эксплуатационные ограничения, преобразуются в слое решений и управления (F4) в конкретные управляющие воздействия и регламенты сервисной поддержки. Через промышленные коммуникационные шины эти воздействия передаются на физический уровень, замыкая кибер-физический контур; фактический отклик вновь поступает в слои F1–F2, инициируя очередной цикл калибровки и обучения и тем самым обеспечивая непрерывную минимизацию совокупного функционала [1, с. 3].

По данным Fortune Business Insights, мировая выручка от технологий цифровых двойников выросла с 17,73 млрд долл. в 2024 г. до прогнозных 24,48 млрд долл. уже в 2025 г., после чего должна совершить почти десятикратный скачок — до 259,32 млрд долл. к 2032 г. (среднегодовой темп 40,1 %) [3]. Пресс-релиз Dimension Market Research (GlobeNewswire) фиксирует ещё более амбициозную траекторию: с 24,3 млрд долл. в 2024 г. мировой рынок может достичь 412,0 млрд долл. к 2033 г. при CAGR 36,9 %. В одних лишь США объём продаж, по прогнозу, возрастёт с 7,3 млрд до 104,8 млрд долл. (CAGR 34,5 %), при этом на «системные» двойники уже приходится 43 % глобальной выручки 2024 г. Такая конвергенция IoT, ИИ и облачных сервисов сигнализирует, что цифровые двойники постепенно переходят из экспериментального статуса в инфраструктурный элемент индустрии 4.0 [4].

Т а б л и ц а 1 — Абстрактная архитектура ЦД

Слой	Ключевая функция
F0 — Физический объект	Датчиковая сеть, исполнительные механизмы
F1 — Данные	Потоковое хранилище, контекстуализация
F2 — Цифровой двойник	Геометрия, физические и логические модели
F3 — ИИ-аналитика	Обучение, оптимизация, предикция
F4 — Решения и управление	Формирование рекомендаций и автоматизированных управляющих воздействий в замкнутом контуре

Заключение. Подводя итог, необходимо сказать, что цифровой двойник — это не очередной синоним модели, а качественный новый способ поддерживать живое, двустороннее взаимодействие цифры и материи. Вместо линейной последовательности «проект — производство — эксплуатация» формируется замкнутый контур, где данные в режиме реального времени непрерывно уточняют гипотезы, а гипотезы — задают новые режимы работы объекта. ЦП имеет отличный потенциал, чтобы стать ядром сквозной оптимизации сложных технических систем — от микроэлектроники до транспортной инфраструктуры.

Список цитируемых источников

1. Применение концепции цифровых двойников на этапах жизненного цикла производственных систем [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-kontseptsii-tsifrovyyh-dvoynikov-na-etapah-zhiznennogo-tsikla-proizvodstvennykh-sistem/viewer>. — Дата доступа: 05.05.2025.
2. Лобан, К.Ю. Возможности технологий ИИ в промышленности / К.Ю. Лобан, А.К. Крамаренко // Наука – практике : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 19 мая 2023 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. унт ; редкол.: В.В. Климук (гл. ред.) [и др.]. — Барановичи : БарГУ, 2023. — Ч. 1. — С. 213–214.
3. Digital Twin Market Size [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.fortunebusinessinsights.com/digital-twin-market-106246>. — Дата доступа: 05.05.2025.
4. Digital Twins Market Is Expected To Reach a Revenue Of USD 412.0 Bn By 2033, At 36.9% CAGR: Dimension Market Research [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.globenewswire.com/news-release/2024/11/11/2978494/0/en/Digital-Twins-Market-Is-Expected-To-Reach-a-Revenue-Of-USD-412-0-Bn-By-2033-At-36-9-CAGR-Dimension-Market-Research.html>. — Дата доступа: 05.05.2025