

Олейникова Олеся Олеговна

студентка

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

Ткаченко Данил Алексеевич

студент

ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте РФ»

г. Москва

Музалев Константин Сергеевич

ассистент

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

***Аннотация:** концепция цифровых двойников (Digital Twins) трансформирует не только промышленность, но и инженерное образование. В статье рассматривается методика использования графовых нейронных сетей и архитектур цифровых двойников для обучения студентов анализу структурных зависимостей в сложных технических системах. Показано, что работа с предиктивными моделями каскадных отказов формирует системное мышление и навыки топологической оценки рисков.*

***Ключевые слова:** цифровые двойники, графовые нейронные сети, инженерное образование, предиктивное обслуживание, системное мышление, Industry 4.*

***Введение:** современное инженерное образование сталкивается с парадоксом: оборудование становится все сложнее, а возможности студентов проводить фи-*

зические эксперименты на критически важных объектах ограничены требованиями безопасности и стоимости. Цифровые двойники (ЦД) представляют собой виртуальные, динамически синхронизируемые модели физических активов, обновляемые в реальном времени. Интеграция ЦД в учебный процесс позволяет студентам моделировать сценарии «что если», прогнозировать остаточный ресурс оборудования и анализировать каскадные эффекты без риска для реального производства.

Графовое представление производственных систем: традиционные методы мониторинга оценивают оборудование изолированно, применяя независимые пороговые правила. В реальности отказы распространяются вдоль технологических цепей. В рамках предлагаемой методики студенты обучаются формализовать производственную линию как ориентированный гетерогенный граф, где узлы – это активы и операции, а ребра кодируют материальные, энергетические и управляющие зависимости. Для анализа таких структур применяются графовые нейронные сети (GNN), в частности архитектуры Graph Attention Networks (GAT), которые динамически оценивают важность каждого соединения через механизм внимания.

Образовательный эксперимент и интерпретируемость: в учебном процессе используется датасет UCI AI4I 2020, содержащий 10 000 производственных циклов. Студенты решают задачу предсказания вероятности каскадного отказа.

Таблица 1

Сравнение подходов к анализу данных в учебном процессе.

Модель	F1-score	Упреждение (циклов)	Образовательная ценность
Random Forest	0.712	1.3	Базовое понимание признаков
LSTM	0.758	1.7	Анализ временных рядов
GAT (предлагаемая)	0.891	2.4	Понимание скрытых структурных зависимостей

Ключевым педагогическим результатом является анализ карт внимания GAT. В 68% случаев критическими факторами оказываются не сырые параметры (например, температура), а производные зависимости (комбинация роста температуры и износа инструмента). Это подтверждает гипотезу о скрытых каскадных

механизмах и учит студентов искать корневые причины в структуре системы, а не в изолированных датчиках.

Заключение: использование цифровых двойников и графовых нейронных сетей в образовании переводит подготовку инженеров от реактивного устранения неисправностей к проактивному, топологически осознанному управлению рисками. Интерпретируемость моделей ИИ обеспечивает прозрачность принятия решений, формируя у студентов доверие к инструментам предиктивной аналитики.

Список литературы

1. Клешко, И. И. Применение алгоритмов машинного обучения для выявления аномальных показаний датчиков карьерного водоотлива / И. И. Клешко, И. А. Вахрушева, Г. В. Кораблева // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2026. – № 3. – С. 235–248.

2. Черняева, П. Д. Правовые аспекты применения систем предиктивного видеомониторинга на базе компьютерного зрения / П. Д. Черняева, В. Ю. Панченко, Г. В. Кораблева // Стратегии устойчивого развития: социальные, экономические и юридические аспекты : материалы II Всероссийской научно-практической конференции (Чебоксары, 26 августа 2026 г.). – Чебоксары : Среда, 2026. – С. 408–411. – EDN ZZFHDK.

3. Кораблева, Г. В. Анализ и совершенствование возможностей поддержки процессов управления качеством автоматизированными ERP-системами / Г. В. Кораблева, А. Н. Ушаков // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 5 (166). – С. 1088–1094. – DOI 10.34925/EIP.2024.166.5.224. – EDN BABPJJ.

4. Кораблева, Г. В. Совершенствование процессов планирования на предприятиях за счёт внедрения автоматизированных систем поддержки принятия решений / Г. В. Кораблева // Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие : сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции (Донецк, 1 ноября 2024 г.). – Донецк : Донецкий национальный технический университет, 2024. – С. 63–65. – EDN WIOIYS.

5. Интеллектуальная модель прогнозирования объемов образования отходов на основе методов машинного обучения / Т. А. Панфилова, В. С. Тынченко,

Б. В. Потапов, М. С. Никаноров // Устойчивое развитие горных территорий. – 2026. – Т. 18, № 2(68). – С. 1107–1120. – DOI 10.21177/1998–4502–2026–18–2–1107–1120. – EDN GTTEPG.