

## **Рецензия**

### **на статью Соколов О.А., Андреев А.А., Хрусталев А.Я. «Экономическая эффективность применения AI/ML при переходе от регламентированного технического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию»**

#### **Актуальность и значимость исследования**

Статья посвящена экономическому обоснованию перехода от регламентированного технического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию на базе методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Актуальность подкреплена весомыми оценками: до 30–40 процентов затрат на плановое обслуживание признаются неоправданными, а до 20 процентов отказов происходят между регламентными ремонтами. Авторы убедительно показывают, что традиционная стратегия ведёт одновременно к переобслуживанию и недообслуживанию, тогда как современные методы обработки данных позволяют выявлять скрытые закономерности деградации и прогнозировать остаточный ресурс.

#### **Методология и содержание**

Методология опирается на гибридную модель прогнозирования остаточного ресурса, объединяющую физические представления о деградации с машинным обучением. Систематизированы классы моделей: градиентный бустинг для классификации, рекуррентные сети LSTM для временных зависимостей, свёрточные сети для извлечения паттернов, автоэнкодеры для обнаружения аномалий. Описан пятиэтапный конвейер обучения с разделением выборки, кросс-валидацией расширяющимся окном и валидацией по метрикам точности, полноты, F1 и RMSE. Экспериментальная проверка проведена на оборудовании компрессорной станции за 36 месяцев с семью отказами; сопоставлены регламентированное ТО, пороговый подход и связка LSTM плюс XGBoost. Результаты подтверждены таблицей: Precision вырос с 0,62 до 0,89, упреждение отказа — с 3,2 до 12,5 суток, простои сократились на 31 процент, а затраты на ТО — на 24 процента.

## **Практическая ценность**

Практическая ценность выражена комплексом дифференцированных рекомендаций для предприятий. Организационные советы охватывают поэтапное внедрение с пилота на критическом оборудовании и формирование междисциплинарной команды. Технические рекомендации содержательны: выбор архитектуры в зависимости от объёма данных, хранение в TimescaleDB или InfluxDB, развёртывание через контейнеризацию и интеграцию по протоколам OPC UA и MQTT.

## **Научная новизна**

Научная новизна состоит в экспериментальной апробации гибридной архитектуры LSTM плюс XGBoost именно в задаче экономического обоснования перехода к обслуживанию по фактическому состоянию с количественной фиксацией эффекта на реальных данных. Ценно, что модель начинала повышать вероятность отказа за 14 суток, тогда как пороговая система реагировала лишь за трое суток, а ошибка порогового метода при прогнозе ресурса превышала 70 процентов, что демонстрирует преимущество учёта динамики деградации.

## **Перспективы и выводы**

Статья представляет собой методически последовательное и результативное исследование с честной фиксацией ограничений — зависимости от качества данных, трудностей интерпретации нейросетевых решений и сложности интеграции. Обозначенные перспективы, включая онлайн-обучение, доменную адаптацию и цифровые двойники, логичны и обоснованны. Работа рекомендуется к публикации и будет полезна специалистам по эксплуатации и цифровой трансформации производства.

Статья рекомендуется к печати в научном журнале.

Рецензент: Есеналиева Бактыгул Баховна- доктор экономических наук,  
доцент, Кыргызский Национальный университет им. Ж. Баласагына.

The reviewer: Yesenalieva Baktygul Bakhovna - Doctor of Economics,  
Associate Professor, Kyrgyz National University named after Zh. Balasagyn

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Bk' with a flourish, likely representing Baktygul Bakhovna.