

# СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Соколович М. Г., Аксёненко М. А. Захарьев В. А.

Кафедра систем управления, Кафедра интеллектуальных информационных технологий  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: zahariev@bsuir.by, {maksimsokolovic185, aksenenko2208}@gmail.com

*В докладе рассматриваются современные подходы к построению систем предиктивного обслуживания на основе методов ИИ, а также примеры их успешного применения.*

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях интенсивного развития промышленных и производственных предприятий, обеспечение бесперебойной работы технологического оборудования приобретает решающее значение. Предиктивное обслуживание (ПдО – Predictive Maintenance, PdM) становится одним из ключевых инструментов для повышения эффективности управления жизненным циклом оборудования и минимизации непредвиденных простоев. Суть предиктивного обслуживания заключается в прогнозировании сбоев и определении оптимального времени для проведения ремонтных работ, основываясь на анализе данных об эксплуатационных параметрах и состоянии оборудования.

В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) значительно улучшили точность и адаптивность таких систем. Применение ИИ для предиктивного обслуживания позволяет анализировать огромные массивы данных, выявлять скрытые закономерности и аномалии, что ведет к повышению эффективности эксплуатации и снижению затрат на обслуживание [1].

## I. СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Предиктивное обслуживание направлено на мониторинг и диагностику состояния оборудования в режиме реального времени. Оно отличается от традиционного планово-предупредительного обслуживания тем, что проводится на основе фактических данных о состоянии оборудования (рис. 1, в), а не на основании календарных интервалов (рис. 1, б), или по факту отказа оборудования (рис. 1, а) [2, 5]. Ключевые этапы процесса предиктивного обслуживания включают:

- Сбор данных – сбор данных с помощью датчиков о вибрациях, температуре, давлении, износе и других параметрах.
- Анализ данных – обработка и анализ полученных данных для выявления аномалий и оценки текущего состояния оборудования.
- Прогнозирование отказов – с использованием методов прогнозной аналитики и ИИ осуществляется предсказание вероятности и времени возможного отказа.

- Оптимизация времени обслуживания – определение оптимального времени для проведения ремонтных работ с целью минимизации простоев и издержек.

Основными источниками данных для предиктивного обслуживания являются датчики интернета вещей (IoT), которые обеспечивают постоянный поток информации о работе оборудования. Эти данные позволяют выявлять ранние признаки износа и прогнозировать возможные отказы [2, 3].

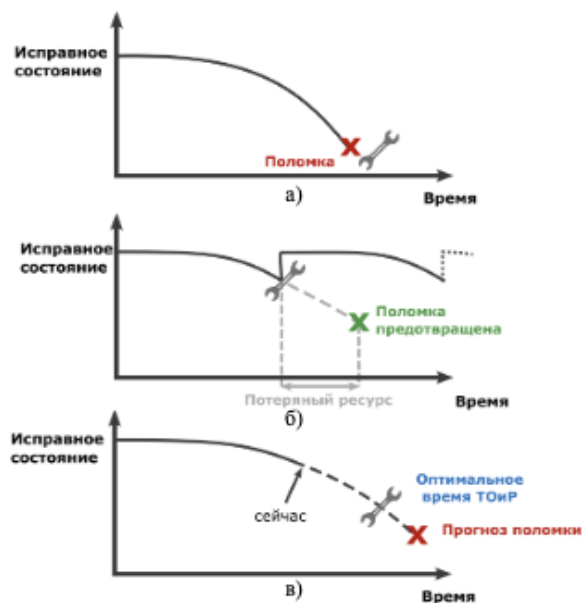


Рис. 1 – Классификация систем: а) реактивный подход; б) профилактический подход; в) предиктивный подход;

## II. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИИ В СИСТЕМАХ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Основой системы мониторинга являются датчики, собирающие данные с оборудования. Для создания алгоритмов предсказательного обслуживания нужно накопить большой объем данных для обучения моделей машинного обучения [5].

Для разных задач требуются разные типы данных:

1. Обнаружение аномалий: достаточно данных нормального состояния оборудования.
2. Классификация: нужны данные как нормального состояния, так и дефектных состояний с аннотациями, чтобы идентифицировать типы отклонений (например, неисправности).
3. Прогнозирование: необходимы данные с метками о состоянии оборудования на момент выхода из строя.



Рис. 2 – Архитектура системы ПдО на с использованием ИИ

Сбор данных – трудоемкий процесс, так как многие поломки происходят редко, а намеренное создание дефектов на оборудовании может быть затратным и технически сложным. Решение этой проблемы – использование цифрового двойника, виртуальной модели оборудования. Цифровой двойник, имитируя работу реального объекта, получает данные с датчиков в реальном времени и позволяет прогнозировать его состояние без риска поломки реального оборудования. Создание цифровых двойников возможно с применением как классических аналитических методов, так и применения подходов на основе ИИ [5].

Применение методов ИИ в системах предиктивного обслуживания охватывает широкий спектр технологий, таких как машинное обучение, глубокое обучение, обработка больших данных и интеллектуальный анализ данных. Рассмотрим основные методы ИИ, которые используются для предиктивного обслуживания [3, 4].

Машинное обучение (ML). Алгоритмы машинного обучения позволяют моделировать поведение оборудования на основе данных о его состоянии. Одними из наиболее часто используемых алгоритмов являются деревья решений, случайные леса и метод опорных векторов. Эти алгоритмы способны выявлять аномалии в работе оборудования и делать предсказания на основе обучающих выборок. Методы: деревья решений, случайные леса, метод опорных векторов.

Глубокое обучение (DL). В ситуациях, когда объем данных значителен и существует слож-

ная зависимость между параметрами, методы глубокого обучения, такие как нейронные сети и сверточные нейронные сети (CNN), показывают высокую эффективность. Они позволяют обрабатывать сложные временные ряды и распознавать нестандартные паттерны, что делает их идеальными для анализа многомерных данных IoT-устройств. Методы: полносвязные нейронные сети, сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), LSTM.

Онтологический подход. Онтологический подход структурирует знания о системе и помогает выявлять взаимосвязи между различными состояниями оборудования, улучшая точность прогнозов и объединяя данные из различных источников в единую модель. Методы: OWL (Web Ontology Language), RDF (Resource Description Framework), SPARQL, OSTIS.

Успешное применение ИИ для предиктивного обслуживания уже реализовано в таких областях, как авиация, автомобильная промышленность и нефтегазовая отрасль. Например, компании, использующие предиктивное обслуживание на основе ИИ, отмечают уменьшение простоев до 50% и снижение затрат на обслуживание до 20% [3, 4, 5].

### III. Выводы

Применение ИИ в системах предиктивного обслуживания позволяет значительно улучшить эксплуатационные показатели технологического оборудования. Прогнозирование сбоев и оптимизация графика обслуживания на основе анализа данных позволяет компаниям снижать затраты и повышать производительность. Разработка и внедрение таких систем требует комплексного подхода и грамотного использования методов машинного обучения, глубокого обучения и обработки больших данных.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tran N. T. An overview of the application of machine learning in predictive maintenance // *Petrovietnam Journal*. – 2021. – (10). – С. 47–61.
2. Ucar A., Karakose M., Kırımca N. Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends // *Applied Sciences*. – 2024. – № 2 (14). – С. 898.
3. Храмовских В. А., Шевченко А. Н., Непомнящих К. А. Адаптивный интеллектуальный анализ данных как инструмент для прогнозирования ресурса узлов горных машин и оборудования // *Науки о Земле и недрапользование*. – 2023. – № 2 (83) (46). – С. 212–225.
4. Datta S. D. Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review // *Heliyon*. – 2024. – № 5 (10). – P. 268-288.
5. О развитии предсказательного обслуживания на примере диагностики трансформатора [Электронный ресурс] / Блог компании ЦИТМ Экспонента // *Habr*. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ctm-exponenta/blog/123456>. Дата доступа: 20.10.2024.