

УДК 658.58

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Сальников М.С.¹, аспирант гр. ДАРМРС-101, I курс

Научный руководитель: Мишин А. В.¹, к.т.н., доцент, доцент

¹Автономная некоммерческая организация высшего образования Московский
университет «Синергия»
г. Москва

Аннотация. В условиях цифровизации промышленности и расширения применения роботизированных производственных комплексов возрастает значение задач обеспечения надежности, технической готовности и рационального обслуживания оборудования. Традиционные подходы, основанные на регламентных интервалах или устранении отказов по факту их возникновения, не учитывают в полной мере фактическое состояние узлов и агрегатов робототехнических систем. В статье рассматривается подход к информационной поддержке технического обслуживания роботизированного оборудования на основе прогноза остаточного ресурса. Предлагается концепция облачной информационной системы, обеспечивающей анализ данных и формирование рекомендаций для инженерно-технического персонала. Отмечается, что применение облачной архитектуры и интеллектуальных методов обработки данных позволяет повысить качество управленческих решений, сократить вероятность внеплановых простоев и оптимизировать затраты на техническое обслуживание роботизированного оборудования.

Ключевые слова: оборудование, техническое обслуживание, остаточный ресурс, диагностика, облачная информационная система, прогнозирование, телеметрия, надежность.

Современное производство основано на широком использовании промышленных роботов, мехатронных модулей, интеллектуальных приводов, сенсорных систем и распределенных средств управления. Рост уровня автоматизации приводит к повышению требований к надежности оборудования, поскольку отказ даже одного элемента системы способен вызвать остановку технологического процесса, нарушение производственного ритма и экономические потери. В связи с этим особую актуальность приобретает совершенствование технического обслуживания оборудования и переход от обслуживания после отказа и регламентных схем к подходам, основанным на анализе фактического состояния объекта.

В последние годы обслуживание по состоянию рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений развития систем эксплуатации

технических объектов. Такой подход ориентирован на использовании диагностической информации, позволяющей судить о степени износа узлов, выявлять деградационные процессы и принимать решения о техническом воздействии до момента наступления отказа [1]. Для роботизированного оборудования данный подход особенно важен, поскольку в его составе присутствуют высоконагруженные и взаимосвязанные элементы.

Роботизированное оборудование представляет собой сложную техническую систему, в которой процессы механического, электрического и программного характера тесно взаимосвязаны. В ходе эксплуатации отдельные узлы подвергаются переменным нагрузкам, вибрациям, тепловым воздействиям и циклическому износу. Это приводит к постепенному ухудшению рабочих характеристик, которое далеко не всегда сопровождается немедленным отказом, но может быть обнаружено по косвенным признакам. К числу таких признаков относятся изменения тока и напряжения приводов, рост температуры, увеличение вибрационной активности, ухудшение точности позиционирования, изменение длительности технологических циклов, появление нестабильности в работе исполнительных механизмов и учащение диагностических сообщений. Следовательно, состояние роботизированного оборудования может оцениваться по совокупности эксплуатационных параметров, поступающих от встроенных средств диагностики и внешних датчиков.

Вместе с тем наличие данных само по себе не обеспечивает эффективной поддержки технического обслуживания. На многих предприятиях телеметрия, журналы событий, сведения о ремонтах и информация о режимах эксплуатации остаются распределенными по различным системам и используются разрозненно. В результате обслуживающий персонал часто опирается либо на регламентные сроки, либо на субъективные признаки ухудшения состояния оборудования. Такой подход ограничивает возможности перехода к предиктивной модели эксплуатации. Как показывают современные обзоры в области condition-based monitoring и condition-based maintenance, практическая ценность мониторинга проявляется только тогда, когда данные объединяются в едином аналитическом контуре [2].

Для роботизированного производства задача становится более сложной из-за высокой чувствительности производственного процесса к отказам оборудования. Если в традиционных машинах выход из строя отдельного элемента может локально снижать производительность, то в роботизированном цикле отказ одного звена способен нарушить работу всей технологической цепочки.

Важнейшей аналитической задачей в такой системе выступает прогнозирование остаточного ресурса. В научной литературе остаточный ресурс рассматривается как один из ключевых показателей предиктивного обслуживания, поскольку позволяет оценивать не только текущее состояние объекта, но и ожидаемую динамику его деградации [3]. Для роботизированного оборудования применение методов оценки состояния открывает возможность

выявления скрытых признаков ухудшения состояния еще до появления явных отказов и, следовательно, позволяет обоснованно переносить ремонтные воздействия в удобные технологические интервалы.

При этом сама по себе оценка остаточного ресурса еще не является конечным результатом, представляющим ценность для службы эксплуатации. Информационная система должна преобразовывать расчетные показатели в практические рекомендации, понятные инженерному персоналу. Это предполагает выполнение нескольких взаимосвязанных этапов: сбор и первичную обработку данных, выявление диагностически значимых признаков, оценку текущего технического состояния, вычисление прогноза остаточного ресурса, определение уровня риска отказа и формирование рекомендации по дальнейшей эксплуатации. В зависимости от результатов анализа система может рекомендовать продолжение штатной работы, усиленный мониторинг, проведение диагностического осмотра, включение узла в ближайший план технического обслуживания либо выполнение внепланового вмешательства.

С архитектурной точки зрения наиболее целесообразной представляется реализация такой информационной поддержки в виде облачной информационной системы. Это обусловлено несколькими причинами. Во-первых, роботизированные производственные комплексы генерируют значительные объемы разнородных данных, для обработки которых необходимы масштабируемые вычислительные ресурсы. Во-вторых, облачная модель позволяет централизованно обслуживать распределенный парк оборудования и формировать единый контур хранения эксплуатационной истории. Также сервисная архитектура упрощает интеграцию с внешними системами и корпоративными платформами обслуживания. Подобный подход хорошо согласуется с современными представлениями о построении цифровых производственных систем, в которых диагностические и прогностические модули работают как связанные сервисы в рамках общей цифровой инфраструктуры [4].

В практическом плане информационная система должна включать средства приема телеметрии, модули предобработки и фильтрации данных, хранилище временных рядов и событий, аналитический модуль оценки состояния, подсистему прогнозирования остаточного ресурса, механизм формирования рекомендаций и пользовательские интерфейсы. На этапе предобработки особое значение имеет синхронизация временных меток, устранение пропусков, нормализация параметров и учет режима работы оборудования. Это необходимо для корректного сопоставления диагностических признаков с фактической нагрузкой на узлы. Далее на аналитическом уровне формируются признаки, характеризующие динамику деградации, после чего система вычисляет прогноз остаточного ресурса и интерпретирует его в терминах технического обслуживания. Для пользователя важно видеть не только итоговый прогноз, но и основание для принятого

решения: какие параметры отклонились от нормы, какова скорость изменения признаков, насколько высока вероятность отказа при планировании.

Технологически реализация такой системы может быть выполнена на базе Java и Spring Framework, что представляется оправданным с точки зрения промышленной разработки. Использование Spring Boot позволяет создавать независимые сервисы приема данных, аналитики, уведомлений и отчетности; Spring Data обеспечивает взаимодействие с различными типами хранилищ; Spring Security позволяет реализовать разграничение доступа по ролям пользователей; а контейнеризация и оркестрация сервисов обеспечивают масштабируемость и удобство развертывания. Для задач прогнозирования остаточного ресурса в такой архитектуре могут использоваться как встроенные аналитические модули, так и внешние сервисы машинного обучения. Современные исследования в области AI-based predictive maintenance показывают, что эффективность подобных систем во многом определяется качеством предобработки данных, прозрачностью принятия решений и удобством интеграции аналитики в производственный контур [5].

Практическая значимость предлагаемого подхода заключается в возможности повышения технической готовности роботизированного оборудования и сокращения числа внеплановых остановок. Если обслуживание выполняется исключительно по календарному или нормативному принципу, предприятие несет риск как преждевременной замены еще работоспособных узлов, так и пропуска момента ускоренной деградации. Кроме того, накопление истории эксплуатации и обслуживания создает предпосылки для последующего совершенствования моделей и формирования базы знаний о типовых отказах, характерных для конкретных классов роботизированного оборудования.

Вместе с тем внедрение такой системы связано с рядом ограничений. Основными из них являются неоднородность и неполнота исходных данных, различия в конфигурациях оборудования, дефицит репрезентативной информации об отказах и необходимость обеспечения доверия пользователей к рекомендациям аналитической подсистемы. Поэтому при проектировании облачной информационной системы важно обеспечивать не только высокую вычислительную эффективность, но и интерпретируемость результатов, возможность экспертной верификации прогнозов и удобство взаимодействия с инженерно-техническим персоналом.

Таким образом, информационная поддержка технического обслуживания роботизированного оборудования на основе прогноза остаточного ресурса представляет собой важное направление развития цифровых систем эксплуатации в промышленности. Ее сущность заключается в преобразовании данных о техническом состоянии оборудования в рекомендации, ориентированные на практическое принятие решений по обслуживанию и ремонту. Использование облачной архитектуры позволяет объединить процессы сбора, хранения, анализа и интерпретации данных в едином информационном контуре, а применение прогностических моделей

делает возможным переход от регламентного и реактивного обслуживания к более гибкой стратегии, учитывающей реальную степень деградации узлов.

Предлагаемый подход может служить методологической основой для разработки облачных информационных систем предиктивного обслуживания роботизированного оборудования в условиях цифровой трансформации производства.

Список литературы:

1. Quatrini E., Costantino F., Di Gravio G., Patriarca R. Condition-Based Maintenance—An Extensive Literature Review // *Machines*. 2020. Vol. 8, no. 2. Art. 31. DOI: 10.3390/machines8020031. URL: <https://www.mdpi.com/2075-1702/8/2/31> (дата обращения: 01.03.2026).
2. Ali A., Abdelhadi A. Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, no. 2. Art. 688. DOI: 10.3390/app12020688. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/2/688> (дата обращения: 01.03.2026).
3. Kang Z., Catal C., Tekinerdogan B. Remaining Useful Life (RUL) Prediction of Equipment in Production Lines Using Artificial Neural Networks // *Sensors*. 2021. Vol. 21, no. 3. Art. 932. DOI: 10.3390/s21030932. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/3/932> (дата обращения: 01.03.2026).
4. Pinto R., Cerquitelli T. Robot Fault Detection and Remaining Life Estimation for Predictive Maintenance // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 151. P. 709–716. DOI: 10.1016/j.procs.2019.04.094. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919305563> (дата обращения: 01.03.2026).
5. Ucar A., Karakose M., Kırımça N. Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 2. Art. 898. DOI: 10.3390/app14020898. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/2/898> (дата обращения: 01.03.2026).