

УДК 62-503.56

## Оптимизация процессов технического обслуживания оборудования: методы и современные подходы

В.Н. Ярцев

*Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия*

*Статья посвящена исследованию методов управления процессами технического обслуживания оборудования на современных предприятиях. Описываются основные подходы, такие как реактивное, планово-предупредительное, предиктивное и надежное обслуживание. Анализируются их особенности, преимущества и недостатки в зависимости от условий эксплуатации оборудования. Особое внимание уделяется интеграции компьютеризированных систем управления и технологий интернета вещей (IoT) для мониторинга и прогнозирования состояния оборудования в режиме реального времени. Целью статьи является предоставление комплексного обзора современных методов и подходов, позволяющих предприятиям повысить свою эффективность и конкурентоспособность.*

*Ключевые слова: аналитика данных, управление предприятиями, интернет вещей, IoT, автоматическое управление.*

## Optimization of equipment maintenance processes: methods and modern approaches

V.N. Iartsev

*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia*

*The article is devoted to the study of methods of management of equipment maintenance processes at modern enterprises. The main approaches such as reactive, preventive, predictive and reliable maintenance are described. Their peculiarities, advantages and disadvantages depending on the equipment operating conditions are analysed. Special attention is paid to the integration of computerised control systems and Internet of Things (IoT) technologies for real-time monitoring and prediction of equipment condition. The aim of the article is to provide a comprehensive overview of modern methods and approaches that allow enterprises to improve their efficiency and competitiveness.*

*Keywords: data analytics, enterprise management, Internet of Things, IoT, automatic control.*

### Введение

Надежность и эффективность работы оборудования в современном промышленном производстве являются ключевыми факторами, обеспечивающими стабильность и конкурентоспособность предприятий. Неисправности оборудования приводят к значительным потерям, включая выпуск брака, дополнительные расходы на ремонт и простои. В таких условиях задачи технического обслуживания приобретают первостепенное значение, так как их основными целями являются обеспечение постоянной работоспособности оборудования, увеличение времени между ремонтами и снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт [1].

В данной статье рассматриваются основные методы управления процессами технического обслуживания на современных предприятиях, среди которых выделяются реактивное обслуживание, планово-предупредительное обслуживание, предиктивное обслуживание и надежное обслуживание. Каждый из этих методов характеризуется

своими особенностями, преимуществами и недостатками, а также критериями применения, которые зависят от условий эксплуатации оборудования и производственных целей предприятия.

Анализ этих методов позволяет понять, каким образом можно существенно улучшить эксплуатационные характеристики оборудования, минимизировать время простоя и оптимизировать расходы [2]. Кроме того, в статье обсуждаются современные подходы к интеграции компьютеризированных систем управления с техническим обслуживанием и технологиями интернета вещей, что открывает новые возможности для мониторинга и прогнозирования состояния оборудования в режиме реального времени.

Цель данной работы заключается в предоставлении комплексного обзора современных методов и подходов к оптимизации процессов технического обслуживания оборудования, что позволяет предприятиям повысить свою эффективность и конкурентоспособность на рынке.

### Факторы, влияющие на качество выполнения договорных обязательств

На диаграмме показаны ключевые факторы, влияющие на качество выполнения договорных обязательств предприятия. Три основные категории – необходимые материалы, использование машин и механизмов, и производственные рабочие – формируют основу производственного процесса. Проблемы с материалами, такие как их замена, потери и колебания цен, снижают эффективность. Неисправности машин и плохое планирование вызывают простои и нехватку ресурсов. Отсутствие работников, их низкая квалификация и нарушения технологий увеличивают количество брака.

Все эти факторы взаимосвязаны и существенно влияют на выполнение договорных обязательств предприятия.



Рисунок. Качество выполнения договорных обязательств

Таким образом, качество выполнения договорных обязательств зависит от нескольких факторов: материалов, использования машин и механизмов, а также работы производственных рабочих. Замена материалов, ненормативные потери и изменение цен могут негативно влиять на результат. Неисправности оборудования и планирование

приводят к простоям, вызванным нехваткой ресурсов или необходимостью внепланового ремонта. Отсутствие рабочих, их квалификация и соблюдение технологий также непосредственно влияют на производственный процесс и качество конечного продукта. Контроль этих факторов критически важен для выполнения обязательств [3].

## Основные методы управления на современных предприятиях технического обслуживания

### Реактивное обслуживание

Реагирующее или реактивное обслуживание – это подход к ремонту и техническому обслуживанию, при котором ремонт или замена оборудования производится только после ухудшения его состояния, приводящего к функциональной недостаточности. Реактивное обслуживание предполагает, что отказ может произойти в любой части компонента или системы и может быть связан с возрастом оборудования. При таком подходе приоритезация наличия запасных частей отсутствует. Если деталь выходит из строя, а ремонтная деталь недоступна, это приводит к простоям. При использовании реактивного обслуживания отсутствует возможность предотвращения отказов, поскольку не предпринимаются действия, направленные на их контроль. Высокий процент внепланового обслуживания, значительные запасы запчастей и неэффективное использование ресурсов являются характерными чертами этого подхода. Реактивная программа технического обслуживания игнорирует влияние на жизненный цикл техники. Она может быть эффективной только как осознанное решение, основанное на результатах анализа RCM, который сравнивает риск, цену ошибки и стоимость необходимого обслуживания для снижения рисков и затрат на устранение отказов. Применение реактивного обслуживания оправдано для некритичных узлов и агрегатов. Например, для электродвигателей мощностью до 7,5 кВт, водонагревателей с небольшой рабочей температурой, вентиляторов в служебных помещениях и других случаев, где последствия отказа минимальны [8].

В таблице ниже представлены критерии, используемые в рамках реактивной программы технического обслуживания для приоритезации работ по ремонту и/или замене оборудования.

Таблица

Критерии реагирующего технического обслуживания

Приоритет	Критерии, основанные на последствиях отказа
Чрезвычайный	Безопасность жизни и имущества под угрозой. Необходимо немедленное вмешательство.
Срочный	Угроза непрерывной эксплуатации объекта. Необходимо вмешательство.
Преимущественный	Значительное и неблагоприятное воздействие на работу системы. Требуется техническая поддержка.
Нормальный	Влияние на работу системы. Вмешательство опционально.
Диспозитивный	Влияние на работу системы минимальны. Действия по усмотрению.
Отложенный	Влияние на работу системы минимальны. Действия по усмотрению.

Реагирующее обслуживание может быть полезно в ситуациях, где стоимость и риск простоя минимальны, и где можно позволить себе время для устранения неполадок без существенного влияния на общую эффективность системы.

## Планово-предупредительное обслуживание

Планово-предупредительное обслуживание (ППО) представляет собой систематический подход к поддержанию оборудования в работоспособном состоянии и предотвращению его поломок. Основная цель ППО – предотвращение аварий и сбоев через регулярные проверки, тестирования и замену изношенных компонентов. Это продлевает срок службы оборудования, снижает затраты на ремонт и обслуживание, а также повышает безопасность на производстве.

Регулярное обслуживание позволяет своевременно выявлять и устранять потенциальные неисправности, избегая серьезных проблем. Это снижает затраты на ремонт, предотвращая крупные повреждения, и повышает безопасность эксплуатации оборудования, что важно в процессах с высокой степенью риска.

ППО начинается с планирования, включающего график работ с датами проверок и замен компонентов. Затем проводятся проверки, тестирования и ремонты. Контроль и учет ведутся с помощью документации, фиксирующей операции и состояние оборудования. На заключительном этапе анализируется эффективность ППО, вносятся корректировки в график и методы обслуживания для их улучшения.

ППО проводится с различной периодичностью. Ежедневное обслуживание включает осмотр, очистку и смазку оборудования. Еженедельное обслуживание подразумевает детальные проверки и тестирование ключевых узлов. Ежемесячное обслуживание включает замену изношенных деталей и регулировки. Ежегодное обслуживание предполагает полный осмотр и ремонт оборудования [4].

Для управления ППО используются графики. График проверок определяет даты проверок и обслуживания для каждого типа оборудования. График замены показывает сроки замены изнашивающихся частей. График затрат визуализирует расходы на профилактическое обслуживание в разные периоды. График отказов и ремонтов отображает частоту отказов и ремонтов до и после внедрения ППО, оценивая её эффективность.

ППО обеспечивает надежную работу оборудования и предотвращает аварии. Систематическое проведение ППО продлевает срок службы оборудования, оптимизирует расходы на его содержание и повышает общую безопасность и эффективность производства.

## Предиктивное обслуживание

Использование данных с датчиков и аналитических моделей для прогнозирования возможных неисправностей и проведения обслуживания по мере необходимости становится важным аспектом управления техническим обслуживанием предприятий. Этот подход, известный как предиктивное обслуживание, позволяет значительно повысить эффективность и надежность производственных процессов.

Процесс внедрения предиктивного обслуживания начинается с установки различных датчиков на оборудование, которые постоянно собирают данные о состоянии машин. Эти данные включают вибрации, температуру, давление, уровень шума и другие критически важные параметры. Собранный информация передается в систему анализа, где с помощью сложных аналитических моделей и методов машинного обучения делаются прогнозы о возможных неисправностях.

Аналитические модели, основанные на исторических данных и текущих показателях, позволяют точно определить, когда необходимо провести обслуживание оборудования. Это устраняет необходимость в плановом обслуживании, которое часто проводится без учета фактического состояния машин. Обслуживание выполняется только тогда, когда это действительно необходимо, что значительно снижает затраты и минимизирует время простоя оборудования.

Однако внедрение предиктивного обслуживания требует значительных первоначальных инвестиций. Во-первых, необходимо приобрести и установить соответствующее оборудование и датчики, что может быть достаточно дорого. Во-вторых, требуется разработка и внедрение аналитических моделей, что предполагает наличие квалифицированного персонала с опытом в области анализа данных и машинного обучения.

Кроме того, предприятия должны инвестировать в обучение своих сотрудников для эффективной работы с новыми технологиями и правильной интерпретации результатов анализа. Это включает техническое обучение по работе с оборудованием и программным обеспечением, а также обучение по управлению процессами предиктивного обслуживания.

Несмотря на значительные первоначальные затраты, преимущества предиктивного обслуживания могут быть существенными. Снижение затрат на обслуживание, уменьшение времени простоя и повышение надежности оборудования способны привести к значительным экономическим выгодам в долгосрочной перспективе. Для предприятий, стремящихся повысить свою конкурентоспособность и эффективность, предиктивное обслуживание является стратегически важным направлением развития.

### **Надежное обслуживание**

Метод, направленный на анализ функций и отказов оборудования для определения наиболее эффективных стратегий обслуживания, является важным элементом в управлении предприятиями, занимающимися техническим обслуживанием. Этот подход, известный как анализ видов и последствий отказов (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA), значительно оптимизирует затраты на обслуживание и повышает надежность оборудования.

Основной принцип метода заключается в систематическом изучении функций оборудования и потенциальных отказов, которые могут возникнуть в процессе его эксплуатации. Процесс начинается с детального анализа каждой единицы оборудования, определения ее основных функций и возможных точек отказа. Для каждой функции проводится анализ вероятных причин отказов, их последствий и вероятности возникновения. На основе этих данных разрабатываются стратегии обслуживания, направленные на предотвращение или минимизацию последствий отказов.

Внедрение данного метода требует значительных усилий и ресурсов. Во-первых, необходимо собрать и проанализировать большое количество данных о функционировании оборудования и его отказах. Это включает как исторические данные, так и информацию, собранную с помощью современных датчиков и систем мониторинга. Для проведения анализа и построения моделей часто требуется использование специализированного программного обеспечения и инструментов анализа данных.

Во-вторых, необходимо привлечение высококвалифицированного персонала, способного проводить глубокий аналитический анализ и разрабатывать эффективные стратегии обслуживания. Это могут быть специалисты в области инженерии надежности, аналитики данных и эксперты по техническому обслуживанию. Их знания и опыт играют ключевую роль в успешной реализации метода.

Одним из важнейших этапов внедрения метода является проведение сессий FMEA, на которых собирается междисциплинарная команда, включающая инженеров, техников, аналитиков и управленческий персонал. Во время этих сессий проводятся детальные обсуждения и анализ возможных отказов оборудования, что позволяет

выявить критические точки и определить наиболее эффективные меры по их предотвращению [5, 6].

После разработки и внедрения стратегий обслуживания на основе анализа отказов необходимо регулярно проводить мониторинг и оценку их эффективности. Это включает сбор данных о фактических результатах, анализ выполнения мероприятий по обслуживанию и корректировку стратегий при необходимости.

Несмотря на значительные первоначальные затраты и сложность внедрения, использование метода анализа функций и отказов оборудования обеспечивает значительные преимущества. Оптимизация затрат на обслуживание, повышение надежности и долговечности оборудования, а также уменьшение времени простоя приводят к улучшению общей эффективности предприятия. Таким образом, для компаний, стремящихся к повышению своей конкурентоспособности и устойчивости, данный метод является важным инструментом в управлении техническим обслуживанием.

### **Компьютеризированные системы управления техническим обслуживанием**

Компьютеризированные системы управления техническим обслуживанием (CMMS) стали неотъемлемой частью современных предприятий, значительно повышая эффективность и точность выполнения различных задач. Интеграция технологий Интернета вещей (IoT) позволяет CMMS мониторить состояние оборудования в режиме реального времени и автоматизировать обслуживание, что оптимизирует затраты и повышает надежность техники.

Когда CMMS интегрируются с IoT, они открывают путь к прогнозирующему обслуживанию. Реальный мониторинг с помощью сенсоров собирает данные о состоянии машин, передавая их в аналитические системы для предсказания возможных отказов. Это позволяет проводить обслуживание по необходимости, снижая затраты на запасные части и сокращая время простоя оборудования. Технологии IoT обеспечивают непрерывный обмен данными между устройствами, что позволяет быстро анализировать информацию и выявлять потенциальные проблемы. Это помогает точно предсказывать поломки и оптимизировать производственные процессы, снижая время простоя и улучшая качество продукции. CMMS также могут автоматически анализировать данные о сбоях, предлагать варианты ремонта и создавать рабочие задания на основе текущего состояния оборудования. Это повышает точность и скорость ремонта, минимизируя влияние человеческого фактора.

Интегрированные CMMS контролируют уровни запасов запасных частей, автоматически уведомляя отдел снабжения о необходимости пополнения. Это оптимизирует управление запасами и повышает точность планирования бюджетов на техническое обслуживание. Для оборудования в удаленных или труднодоступных местах CMMS особенно полезны. С помощью IoT-сенсоров можно дистанционно мониторить состояние техники и автоматически генерировать рабочие задания, что снижает время и затраты на аварийные ремонты. Однако внедрение CMMS с интеграцией IoT требует значительных инвестиций в технологии, включая установку сенсоров и разработку аналитических моделей, а также обучение персонала. Сотрудничество с опытными поставщиками IoT-решений может сократить время внедрения и снизить затраты, обеспечивая быстрое получение преимуществ [7].

Использование CMMS с интеграцией IoT открывает широкие возможности для повышения эффективности и надежности оборудования. Несмотря на значительные первоначальные затраты и вызовы, долгосрочные преимущества делают эти технологии важным инструментом для современных предприятий.

## Заключение

Оптимизация технического обслуживания оборудования важна для современных предприятий, стремящихся к эффективности и конкурентоспособности. В статье рассмотрены различные методы обслуживания: реактивное, планово-предупредительное, предиктивное и надежное. Реактивное обслуживание проводится только после поломок, что может привести к простоям и высоким затратам на ремонт. Планово-предупредительное обслуживание предусматривает регулярные проверки и замены деталей, что продлевает срок службы оборудования и снижает риск аварий. Предиктивное обслуживание, основанное на данных и аналитике, позволяет проводить ремонты по мере необходимости, экономя ресурсы. Надежное обслуживание включает анализ возможных отказов и разработку стратегий для их предотвращения, что оптимизирует затраты и повышает надежность оборудования. Современные технологии, такие как CMMS и IoT, позволяют мониторить состояние оборудования в реальном времени и проводить обслуживание более эффективно.

В итоге, правильный выбор методов и использование современных технологий помогают предприятиям улучшить производительность, сократить риски и затраты, а также повысить надежность и конкурентоспособность.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Задорожний В.Г. Расчеты рисков в задаче о портфеле / В.Г. Задорожний // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2017. – № 1. – С. 81-86.
2. Дехканов У.А. Системный анализ как метод принятия оптимальных управленческих решений / У.А. Дехканов, М.А. Шаталов, Л.В. Мазур // Территория науки. – 2018. – № 3. – С. 91-96.
3. Парамонова Т.В. Оптимизация процессов технического обслуживания на промышленных предприятиях / Т.В. Парамонова // Экономика и управление. – 2019. – № 4. – С. 45-52.
4. Смирнов И.В. Современные подходы к управлению техническим обслуживанием оборудования / И.В. Смирнов // Техника и технологии. – 2020. – № 2. – С. 30-37.
5. Беляев А.Н. Компьютеризированные системы управления техническим обслуживанием: принципы и практика внедрения / А.Н. Беляев // Информационные технологии и системы. – 2021. – № 3. – С. 22-29.
6. Кузнецов В.П. Использование предиктивного обслуживания на основе данных датчиков / В.П. Кузнецов // Техническая диагностика и обслуживание. – 2022. – № 1. – С. 15-21.
7. Иванов А.А. Интеграция IoT технологий в системы управления техническим обслуживанием / А.А. Иванов, Б.Б. Петров // Инновации и технологии. – 2023. – № 5. – С. 50-56.
8. Реагирующее обслуживание [Электронный ресурс] // RCM: Навигатор. – URL: <http://rcm2.ru/stati-ob-rcm/reagiruyushhee-obslyuzhivanie/> (дата обращения: 29.05.2024).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ярцев Вадим Николаевич**, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.  
e-mail: [vadim2599@yandex.ru](mailto:vadim2599@yandex.ru)