

УДК 658-588-8

<https://www.doi.org/10.47813/dnit-III.2024.11.1003>

EDN [FZKJRE](#)

## Профилактическое обслуживание оборудования на промышленном предприятии химической отрасли: проблемы и подход к повышению эффективности

М.А. Насонов<sup>1\*</sup>, С.А. Манцеров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Группа компаний Синтез ОКА, Портовое шоссе, дом 1Б, корпус 2, помещение 9, г. Дзержинск, 606000, Россия

<sup>2</sup>Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, ул. Минина, 24, г. Нижний Новгород, 603155, Россия

\*E-mail: [research@frepple.ru](mailto:research@frepple.ru)

**Аннотация:** в статье рассматривается промышленное предприятие химической отрасли и изучаются возможности повышения эффективности профилактического обслуживания оборудования. Приводятся определения и подчеркивается важность профилактического технического обслуживания в снижении различных рисков. Приводятся проблемы в системе профилактического обслуживания на предприятии, ставится задача повышения эффективности профилактического обслуживания оборудования. Приводится подход, улучшающий систему профилактического обслуживания на основе динамического планирования профилактических мер, интеграции цифровых датчиков для выполнения мониторинга, применения мобильных диагностических инструментов. В заключении сделан вывод о том, что изложенный в статье подход способствует повышению надежности оборудования, безопасности эксплуатации, оптимизации ресурсов.

**Ключевые слова:** профилактическое техническое обслуживание оборудования, стратегия технического обслуживания, система технического обслуживания и ремонтов, адаптивная стратегия технического обслуживания, оборудование химического производства.

## Preventative maintenance of equipment in an industrial company in the chemical industry: problems and opportunities for increasing efficiency

M.A. Nasonov<sup>1\*</sup>, S.A. Mantserov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sintez-OKA group of companies, Dzerzhinsk, 606000, Russia

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev, Minin Street, 24, Nizhny Novgorod, Russia

\*E-mail: [research@frepple.ru](mailto:research@frepple.ru)

**Abstract:** the paper commences by providing comprehensive definitions of preventive maintenance and underscores its paramount role in mitigating diverse risks associated with equipment failure. Identified challenges specific to the enterprise's preventive maintenance practices are elucidated, emphasizing the imperative to enhance equipment maintenance efficiency. To address these challenges, the article proposes an adaptive approach aimed at augmenting the efficacy of preventive maintenance. The proposed approach advocates for the dynamic planning of preventive measures, facilitated by the seamless integration of digital sensors for real-time monitoring and the deployment of mobile diagnostic tools. The findings of this study highlight the substantial benefits of the proposed approach, emphasizing its positive impact on equipment reliability, operational safety, and resource utilization.

**Keywords:** preventive maintenance of equipment, maintenance strategy, maintenance and repair system, adaptive maintenance strategy, chemical production equipment.

## 1. Введение

Химическая промышленность играет ключевую роль в современном обществе, обеспечивая необходимым сырьем различные отрасли народного хозяйства, а также поставляя разнообразную продукцию потребителям. Надежность и эффективность оборудования химического производства имеют первостепенное значение для обеспечения непрерывного процесса производства, минимизации простоев, поддержания безопасной рабочей среды, сохранения экологии. Важным инструментом в достижении этих целей является стратегия профилактического технического обслуживания (ТО) оборудования.

Понятие профилактического технического обслуживания приводится в ГОСТ Р ИСО 20815–2013, где сказано, что такое ТО проводится «через заранее установленные интервалы, или по предписанным критериям оценки состояния и выполняется с целью уменьшения вероятности отказа оборудования» [4]. Определение понятия профилактического ТО приводится и в ГОСТ 18322–2016, в соответствии с которым профилактическое ТО – это плановое ТО, «выполняемое через определенные интервалы времени и направленное на поддержание работоспособного состояния объекта, на раннее выявление неисправностей и снижение вероятности отказов» [1]. ГОСТ Р 27.102–2021 указывает на то, что профилактическое ТО – это плановое ТО, выполнение которого осуществляется в соответствии с требованиями документации [2]. Тот же смысл определения содержится в ГОСТ Р ИСО 13372–2013, где говорится о планово-предупредительном обслуживании как о техническом обслуживании, направленном на «проведение работ по заранее составленному плану или в соответствии с предписанными критериями ухудшения функциональности системы с целью поддержания ее ресурсов» [3].

Таким образом, рассмотренные определения связаны с описанием действий по техническому обслуживанию, целью которых является упреждение отказов и сбоев в работе оборудования на основе планирования с использованием нормативов определения сроков и ресурсов. В химической промышленности, где последствия неисправностей оборудования могут нести в том числе серьезные риски, связанные с безопасностью производства, здоровьем сотрудников и нанесением вреда экологии, такой упреждающий подход имеет решающее значение.

## 2. Постановка задачи (Цель исследования)

Профилактическое ТО на исследуемом предприятии включает проведение типовых предупредительных мер на каждом объекте оборудования в заранее запланированные сроки в соответствии с перечнем предусмотренных для каждого типа оборудования мероприятий. Основные цели такой стратегии:

- обеспечение бесперебойной эксплуатации оборудования производства;
- приоритетное внимание безопасности персонала, работающего на оборудовании;
- поддержание точности регулировок и настроек оборудования для соблюдения технологических режимов.

В действующей системе профилактического ТО сосуществует ряд проблем, одной из которых является проблема различного возраста оборудования, интегрированного в производственный процесс. Наличие разного по возрасту оборудования приводит к разной степени износа агрегатов и элементов этого оборудования, что требует применение гибкого подхода к проведению ТО. Существенным препятствием в достижении целей при проведении ТО является отсутствие оперативных данных о фактическом техническом состоянии оборудования. Отсутствие цифровых датчиков и интерфейсов сбора данных для критически важной части имеющегося оборудования препятствует переходу к стратегии технического обслуживания, ориентированной на надежность – Reliability Centered Maintenance (RCM) [10], а также стратегии RCM, основанной на данных (Data-Driven RCM) [8]. Вместе с тем значительная часть оборудования попадает в категорию, для которой обязательные профилактические работы диктуются заранее установленными интервалами времени, независимо от фактической интенсивности использования в производстве. Такая жесткость в планировании ТО может приводить к неэффективному распределению ресурсов и неоптимальному использованию оборудования в производственном процессе.

Требуется определить подход к повышению эффективности применения стратегии профилактического обслуживания оборудования на исследуемом предприятии.

### 3. Методы и материалы исследования

В исследованиях, посвященных практике применения стратегий технического обслуживания оборудования, изучаются схожие проблемы и предлагаются способы проведения улучшений, которые могут рассматриваться как источники повышения эффективности стратегии профилактического технического обслуживания. Так, Джордж Х. Вайс в своей статье дает ценную информацию о принятии решений по техническому обслуживанию и экономических последствиях стратегий технического обслуживания, уделяя особое внимание математическому моделированию и методам оптимизации [11]. Хардт и М. Катырба исследуют проблемы профилактического обслуживания оборудования в контексте применения методологии Total Productive Maintenance (TPM). В своем исследовании авторы отмечают, что переход к концепции TPM дает снижение внеплановых простоев оборудования, улучшение его технического состояния, повышение безопасности труда, однако при этом авторы указывают на наличие таких недостатков применения TPM как – большие складские запасы и высокие затраты на достижение высокого качества выполнения профилактических мероприятий [7]. Н. Ван и Ш. Рен предлагают подход к активному профилактическому обслуживанию, ориентированный на централизацию ТО у производителя оборудования, считая, что формат централизованного управления техническим обслуживанием оборудования способствует точному и эффективному прогнозированию отказов и оперативному устранению неисправностей. Ключевым компонентом предлагаемого подхода авторы считают глубокую нейронную сеть, используемую для прогнозирования оставшегося эффективного срока службы оборудования, что приводит к улучшению выявления неисправностей, упреждающему профилактическому обслуживанию и снижению затрат на техническое обслуживание [9]. С.А. Манцеров развивает идеи применения нейронных сетей в прикладных задачах и рассматривает область применения нейро-нечетких технологий для решения сложной задачи классификации технических состояний объектов со сложной структурой. Автор предлагает комплексную методологию количественной оценки, включающую такой параметр как индекс технического состояния [5]. Эти и другие исследования позволяют оценить различные аспекты улучшений стратегии профилактического ТО при разработке адаптивного подхода к решению проблем на исследуемом предприятии.

Адаптивный подход к повышению эффективности стратегии профилактического ТО на исследуемом предприятии основан на динамическом планировании профилактических мер за счет использования информации о состоянии и условиях эксплуатации объектов обслуживания. Такой подход согласуется с выводами, представленными в работе [6] о возможности применения комплексной стратегии в системе ТО, состоящей из разных стратегий для разных категорий оборудования и предполагает профилактическое техническое обслуживание, при котором сроки и состав профилактических мер корректируются в зависимости от наблюдаемого износа и интенсивности эксплуатации. Основные аспекты адаптивного подхода:

### *3.1. Повышение гибкости планирования профилактических мер*

Динамическое планирование технического обслуживания позволяет осуществить переход от жестких графиков технического обслуживания, основанных на фиксированных интервалах времени межремонтных циклов к гибкой модели определения сроков проведения и состава профилактических мероприятий. Фиксированные интервалы циклов обслуживания, используемые в системе технического обслуживания предприятия для типовых объектов обслуживания, должны быть пересмотрены и адаптированы к специфике предприятия. Большое значение в актуализации нормативов для планирования мероприятий профилактического обслуживания должна сыграть информация о техническом состоянии, получаемая на основе сбора данных с оборудования.

### *3.2. Оснащение средствами мониторинга*

Для точного определения сроков и состава проведения профилактических мероприятий требуется преодолеть недостаток данных о техническом состоянии оборудования, поэтому такой подход предполагает интеграцию цифровых датчиков в оборудование и настройку интерфейсов сбора данных. Это позволяет осуществлять мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени, упрощает процесс принятия решений и снижает зависимость от необходимости использования жесткого планирования мероприятий технического обслуживания с привязкой ко времени.

### *3.3. Применение мобильных средств диагностики*

Диагностические инструменты, использующие такие технологии, как измерение вибрации, акустический мониторинг и термография широко применяются для оперативной оценки состояния оборудования. Оснащение каждой единицы

оборудования специальными диагностическими датчиками может сопровождаться значительными финансовыми расходами, поэтому мобильные средства диагностики позволяют использовать более гибкий и экономичный подход к оценке технического состояния, позволяя оптимально распределять ресурсы. Мобильные диагностические инструменты имеют возможности для адаптации к разнообразному оборудованию, что позволяет использовать одно диагностическое устройство для различных типов оборудования. Такая адаптивность упрощает процесс технического обслуживания и снижает потребность в специализированных инструментах для отдельных частей оборудования.

#### **4. Полученные результаты**

Внедрение адаптивного подхода к профилактическому обслуживанию оборудования в сочетании с интеграцией цифровых устройств мониторинга и мобильных диагностических инструментов приводит к улучшениям свойств действующей на исследуемом предприятии системы технического обслуживания, способствуя комплексному улучшению следующих ключевых аспектов.

##### *4.1. Повышение надежности оборудования*

Гибкое планирование проведения профилактических работ в зависимости от возраста и состояния оборудования гарантирует, что мероприятия по техническому обслуживанию точно адаптированы к конкретным потребностям каждого актива. Такой целенаправленный подход снижает риск неожиданных сбоев, продлевает срок службы оборудования и повышает общую надежность. Динамическая корректировка графиков технического обслуживания на основе данных позволяет заранее планировать и проводить упреждающие меры, предотвращая потенциальные поломки и сводя к минимуму дорогостоящие простои. В результате надежность оборудования существенно повышается, обеспечивая бесперебойную работу производства.

##### *4.2. Повышение безопасности производства*

Безопасность на промышленном предприятии имеет первостепенное значение, поскольку любой компромисс создает значительные риски как для персонала, так и для имущества. Интеграция цифровых устройств мониторинга позволяет отслеживать состояние оборудования в режиме реального времени, что позволяет заблаговременно выявлять потенциальные угрозы безопасности или отклонения от оптимальных условий

эксплуатации. Используя мобильные диагностические инструменты, специалисты по техническому обслуживанию могут быстро оценить состояние оборудования и устранить возникающие проблемы, прежде чем они перерастут в проблемы безопасности. Адаптивный характер подхода к техническому обслуживанию гарантирует, что регламент безопасности эксплуатации оборудования обеспечивается динамическим планированием и проведением профилактических мер, эффективно снижая риски и создавая безопасную рабочую среду.

#### *4.3. Оптимизация ресурсов*

Адаптивный подход позволяет более эффективно распределять ресурсы. Высвобожденные ресурсы можно направить на оборудование, которое больше всего требует внимания. Такое целевое распределение помогает оптимизировать рабочую силу, материалы и время, сокращая ненужные затраты, связанные с чрезмерным техническим обслуживанием или внеплановыми остановками. Адаптивный подход помогает найти баланс между затратами, связанными с профилактическим обслуживанием, и потенциальными затратами в случае отказа оборудования.

### **5. Выводы**

Предлагаемый адаптивный подход к профилактическому обслуживанию для предприятия химической промышленности решает проблемы, связанные со спецификой парка оборудования, ограниченностью возможности использования данных о техническом состоянии, сроках проведения и составе профилактических мероприятий. Такой подход более точно согласовывает усилия по техническому обслуживанию с фактическим состоянием и потребностями оборудования, что приводит к более устойчивой и эффективной стратегии обслуживания. Интегрируя цифровые датчики и создавая систему поддержки принятия решений на основе мобильной диагностики, предприятие может повысить надежность оборудования, обеспечить безопасность труда и оптимизировать ресурсы, что в конечном итоге повысит общую операционную эффективность компании.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 18322–2016 Система технического обслуживания и ремонта техники.

Термины и определения: нац. Стандарт Рос. Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в

- действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 марта 2017 г. N 186-ст
2. ГОСТ Р 27.102–2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения: нац. Стандарт Рос. Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2021 г. N 1104-ст
  3. ГОСТ Р ИСО 13372–2013 Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения: нац. Стандарт Рос. Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. N 1661-ст
  4. ГОСТ Р ИСО 20815–2013 Нефтяная, нефтехимическая и газовая промышленность. Управление обеспечением эффективности производства и надежностью: нац. Стандарт Рос. Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2013 г. N 2283-ст
  5. Манцеров С.А. Нейронечеткая классификация технических состояний объектов сложной структуры / С.А. Манцеров // Информационные технологии. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 91-97
  6. Насонов М.А. Стратегии технического обслуживания и ремонтов оборудования для применения на химическом предприятии / М.А. Насонов // Достижения науки и технологий-ДНиТ-11-2023: Сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции, Красноярск, 27–28 февраля 2023 года. Том Выпуск 7. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2023. – С. 418-427.
  7. Hardt F. Innovative Approach to Preventive Maintenance of Production Equipment Based on a Modified TPM Methodology for Industry 4.0 / F. Hardt, M. Kotyrba, E. Volna, R. Jarusek. // Appl. Sci. – 2021.
  8. Ma Z. Data-driven decision-making for equipment maintenance / Z. Ma, Y. Ren, X. Xiang, Z. Turk // Automation in Construction. – 2020. – V. 112

9. Wang N. An active preventive maintenance approach of complex equipment based on a novel product-service system operation mode / N. Wang, S. Ren, Y. Liu, M. Yang, J. Wang, D. Huisingh // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – V. 277
10. Song M. Automatic identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance analysis by using functional modeling and reasoning / M. Song, X. Zhang, M. Lind // *Computers & Industrial Engineering*. – 2023. – V. 182
11. Weiss G. A Problem in Equipment Maintenance / 7. George H. Weiss // *Management Science* 8(3)., 1962 – p. 266-277