

УДК 004.02, 658-588

<https://www.doi.org/10.47813/dnit.4.2025.3005>

EDN

[IGQAEC](#)

Повышение эффективности планирования профилактического обслуживания оборудования на промышленном предприятии

М.А. Насонов*

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

*E-mail: ma.nasonov@sintez-oka.ru

Аннотация. В статье обозначена актуальность повышения эффективности планирования профилактического технического обслуживания оборудования на промышленном предприятии. Рассматриваются исследования, посвященные существующим методам планирования, выявляются их ограничения и недостатки в условиях динамичного производственного процесса. Приводится характеристика проблем исследуемого предприятия, связанных с неэффективностью планирования технического обслуживания. Ставится задача совершенствования планирования ТОиР, включающего организационные, методологические и инструментальные аспекты. Рассматриваются способы решения, основанные на внедрении централизованной системы управления ТОиР, динамического планирования, оптимизации распределения ресурсов, а также использовании автоматизации планирования. Приводится описание аспектов организационного, методологического и инструментального обеспечения. Рассматриваются основные характеристики применяемых методов и технологий. Приводятся полученные результаты, демонстрирующие снижение внеплановых простоев оборудования, сокращение времени выполнения ремонтных работ, повышение точности прогнозирования отказов и рост уровня автоматизации процессов. Обсуждаются пути развития, включая дальнейшую интеграцию аналитических инструментов и расширение применения искусственного интеллекта для прогнозирования и оптимизации ремонтных работ. Представлен вывод о том, что комплексный подход к планированию профилактического технического обслуживания, сочетающий организационные, методологические и инструментальные решения, позволяет значительно повысить эффективность технического обслуживания, снизить внеплановые простои и повысить надежность работы оборудования, обеспечивая устойчивое развитие предприятия.

Ключевые слова: профилактическое техническое обслуживание, планирование, повышение эффективности, цифровые технологии, оптимизация ремонта.

Improving the efficiency of preventive maintenance planning in an industrial company

M.A. Nasonov*

Group of Companies, Russia, 606000, Dzerzhinsk, Portovoe Shosse, Building 1B, Block 2,
Room 9

*E-mail: ma.nasonov@sintez-oka.ru

Abstract The article highlights the relevance of improving the efficiency of preventive maintenance planning in an industrial company. It reviews studies on existing planning methods, identifying their limitations and shortcomings in the context of a dynamic production process. The article provides a characterization of the challenges faced by the studied enterprise, particularly those related to the inefficiencies in maintenance planning. The task of enhancing preventive maintenance planning is set, encompassing organizational, methodological, and instrumental aspects. The article examines solutions based on the implementation of a centralized maintenance management system, dynamic planning, resource allocation optimization, and automated planning processes. A detailed description of the organizational, methodological, and instrumental aspects is provided, along with an analysis of the key characteristics of the applied methods and technologies. The obtained results demonstrate a reduction in unplanned equipment downtime, shorter repair execution times, improved failure prediction accuracy, and increased automation of maintenance processes. The discussion explores future development directions, including further integration of analytical tools and the expansion of artificial intelligence applications for failure prediction and maintenance optimization. The article concludes that a comprehensive approach to preventive maintenance planning, integrating organizational, methodological, and instrumental solutions, significantly improves maintenance efficiency, reduces unplanned downtime, and enhances equipment reliability, thereby ensuring the sustainable development of the enterprise.

Keywords: preventive maintenance, planning, efficiency improvement, digital technologies, maintenance optimization.

1. Введение

На предприятиях химической промышленности, где сбои в работе оборудования могут приводить к значительным экономическим потерям и создавать экологические риски, организация процесса профилактического технического обслуживания требует четкого планирования, координации и контроля [1]. Однако, традиционные подходы к планированию мероприятий по техническому обслуживанию и ремонтам (ТОиР) зачастую оказываются недостаточно гибкими, что создает проблемы для всей системы профилактического обслуживания оборудования. В исследованиях отмечается, что одной из главных проблем является ограниченность существующих систем планирования, основанных на статических графиках. Такие системы не учитывают динамическую природу производственного процесса, а также наличие ресурсных и временных ограничений, из-за чего возникает несогласованность между заранее запланированными мероприятиями и необходимостью выполнения срочных внеплановых работ. Чаабан и авторы указывают на невозможность полного обслуживания всех компонентов системы из-за высокой динамики внеплановых изменений в графике мероприятий ТОиР, что требует принятия решений о том, какие компоненты получают более высокий приоритет в обслуживании, а какие могут быть отложены несмотря на заранее запланированные сроки. Для решения проблемы авторы предлагают интегрированную модель планирования и контроля исполнения, позволяющую одновременно оптимизировать выбор ремонтируемых компонентов, уровень их технического обслуживания и выполнять распределение задач между исполнителями [2]. Лавринов и Хомякова указывают на ключевые проблемы в организации и проведении ремонтов ввиду отсутствия централизованной информационной системы. В качестве решения авторы предлагают процессный подход и моделирование бизнес-процессов с внедрением цифровых технологий, позволяющих в первую очередь автоматизировать процесс планирования [3]. Катаб и авторы подчеркивают, что традиционные методы планирования технического обслуживания часто не учитывают необходимость работы в условиях ограниченного времени и сложности распределения ресурсов. Авторы предлагают интегрированный подход, который объединяет оптимизацию планирования и исполнения мероприятий ТОиР в единый процесс [4]. Чжао и авторы отмечают, что использование аналитических инструментов, таких как машинное обучение, анализ больших данных и цифровые

двойники, дает возможность оптимизировать графики ТОиР, что повышает общую эффективность производственных процессов, снижает количество внеплановых остановок и повышает срок службы оборудования [5]. Эти и другие исследования указывают на то, что для повышения эффективности планирования профилактического технического обслуживания оборудования необходимо не только совершенствовать методы составления графиков, но и учитывать организационные, методологические и инструментальные аспекты обеспечения эффективности.

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Анализ процессов планирования на исследуемом предприятии показал, что система ТОиР строилась в течение долгих лет, постепенно усложняясь и адаптируясь к внешним и внутренним условиям. Однако, со временем существующие подходы к управлению мероприятиями ТОиР стали приводить к сбоям, создавая барьеры для эффективного управления. Сегодня эффективность планирования профилактического технического обслуживания сталкивается с рядом взаимосвязанных проблем, которые негативно сказываются на надежности оборудования и эффективности процессов ТОиР [6]. Проблема состоит в том, что процесс планирования мероприятий ТОиР основан на годовых графиках с заранее определенными сроками проведения регламентных работ и распределенной загрузкой исполнителей, что не позволяет оперативно реагировать на внеплановые отказы оборудования, неожиданные простои и изменения в приоритетах производства. В результате возникают ситуации, когда запланированные работы конфликтуют со срочными корректирующими мероприятиями, что приводит к неэффективному распределению ресурсов и сбоям в работе предприятия.

На основе комплексного и системного подхода к совершенствованию планирования профилактического технического обслуживания требуется устранить существующие недостатки и повысить общую эффективность планирования проведения мероприятий ТОиР.

3. Методы и материалы исследования

3.1. Анализ проблем планирования проведения мероприятий ТОиР

Одной из ключевых проблем является использование статических методов планирования, которые не учитывают изменяющийся характер производственного процесса и этому способствуют ряд факторов, охватывающих организационные, методологические и инструментальные аспекты.

3.1.1. Организационный аспект. Частью рассматриваемой проблемы является организационная структура и механизмы взаимодействия внутри подразделений, ответственных за ТОиР. Недостаточная координация между ремонтными службами, производственными подразделениями и персоналом служб обеспечения приводит к неэффективному распределению задач, задержкам в выполнении работ и несогласованности приоритетов. Отсутствие единого стандартизированного подхода к распределению ролей и обязанностей усугубляет эти проблемы, снижая эффективность использования ресурсов и оперативность технического обслуживания.

3.1.2. Методологический аспект. С методологической точки зрения несоответствие подхода к планированию ТОиР является серьезным препятствием. В частности, отсутствуют формализованные методики, которые позволяют увязать деятельность по техническому обслуживанию с целями обеспечения надежности оборудования и стратегическими задачами предприятия. Отсутствие четкой модели планирования, учитывающей критичность оборудования, приоритеты на основе анализа рисков и оптимизированную последовательность выполнения работ, ведет к неэффективному принятию решений и несогласованности проведения плановых и внеплановых мероприятий ТОиР.

3.1.3. Инструментальный аспект. С инструментальной точки зрения нехватка интегрированных информационных систем и аналитических инструментов затрудняет возможность принятия решений на основе данных. Существующая информационная система управления ТОиР не обладают функциями оперативного мониторинга, прогнозной аналитики и автоматизированного оперативного планирования, что делает невозможной динамическую оптимизацию графиков ТОиР. Кроме того, разобщенность информации между различными подразделениями приводит к появлению изолированных информационных блоков, что затрудняет принятие комплексных управленческих решений и реализацию долгосрочных стратегий по повышению эффективности технического обслуживания.

3.2. Повышение эффективности планирования мероприятий ТОиР

Предложенный подход к повышению эффективности планирования профилактического обслуживания оборудования направлен на устранение выявленных проблем и формирование гибкой, адаптивной системы планирования ТОиР, способной

учитывать динамическую природу производственного процесса, ресурсные ограничения и современные цифровые технологии.

3.2.1. Организационный аспект. Организационная структура процесса ТОиР должна обеспечивать эффективное распределение ролей и обязанностей, а также координацию между всеми участниками процесса. Для этого предлагается:

- Создание единого центра управления ТОиР – структурного подразделения, ответственного за мониторинг состояния оборудования, формирование планов технического обслуживания и управление ресурсами.
- Оптимизация процессов взаимодействия между ремонтными службами, производственными подразделениями и отделом планирования через внедрение процессного подхода, четкое разграничение функций и использование цифровых инструментов координации.
- Внедрение системы приоритизации задач – разработка регламентов, позволяющих объективно определять критичность оборудования и степень срочности ремонтных мероприятий на основе анализа данных о его состоянии.
- Развитие культуры профилактического обслуживания – обучение персонала методам прогнозного технического обслуживания и планирования на основе данных, что позволит минимизировать внеплановые ремонты.

3.2.2. Методологический аспект. С методологической точки зрения предлагается использовать интегрированную модель планирования ТОиР, которая сочетает элементы динамического и прогнозного планирования. Основные элементы модели включают:

- Гибридное планирование – сочетание долгосрочного (на основе нормативов и регламентов) и краткосрочного (адаптивного) планирования, учитывающего изменения в рабочей нагрузке и техническом состоянии оборудования [7].
- Применение методов Workload Control (WLC) – концепция управления загрузкой ремонтных бригад, позволяющая сбалансировать объем работ и обеспечить равномерное распределение нагрузки на персонал [8].
- Оптимизация графиков ТОиР с учетом риска и критичности оборудования – определение приоритетов технического обслуживания с применением методов анализа риска (например, RCM – Reliability-Centered Maintenance) [9].
- Использование математических моделей для планирования – применение моделей смешанного целочисленного программирования (MILP) [10] для

оптимального распределения ремонтных работ с учетом ресурсных ограничений, рабочих смен и сроков выполнения.

- Внедрение методов предиктивного анализа – использование исторических данных о поломках и техническом состоянии оборудования для прогнозирования возможных отказов и оптимизации периодичности обслуживания [11].

3.2.3. Инструментальный аспект. Внедрение современных информационных технологий является ключевым фактором повышения эффективности процессов ТОиР.

В рамках инструментального аспекта предлагается:

- Создание единой цифровой платформы для управления ТОиР – интеграция всех данных о техническом состоянии оборудования, графиках обслуживания, нагрузке ремонтных бригад и внеплановых ремонтах в единую информационную систему.
- Использование методов машинного обучения и анализа данных – применение алгоритмов машинного обучения для выявления закономерностей в работе оборудования, прогнозирования отказов и автоматической корректировки планов ТОиР.
- Внедрение технологий сбора данных мониторинга – моделирование работы оборудования в виртуальной среде для анализа технического состояния, прогнозирования потребности в обслуживании и оптимизации планов ремонта.
- Автоматизация планирования ТОиР – внедрение программных решений, использующих алгоритмы оптимизации и интеллектуальные системы поддержки принятия решений (DSS) [12], что позволяет автоматически формировать оптимальные графики технического обслуживания.

Таким образом, предложенная методология, объединяющая организационные, методологические и инструментальные решения, позволяет повысить адаптивность и эффективность процессов планирования профилактического технического обслуживания в промышленной компании. Реализация комплексного подхода обеспечит сокращение внеплановых простоев, оптимизацию загрузки ремонтных служб и повышение общей надежности производственного оборудования.

4. Полученные результаты

Применение комплексного подхода к планированию профилактического технического обслуживания позволяет достичь значительных улучшений в

эффективности планирования и выполнения ремонтных работ. Анализ результатов внедрения решений, охватывающих организационные, методологические и инструментальные аспекты, показывает следующие результаты:

4.1. Улучшение координации и управления процессами ТОиР

Создание единого центра управления ТОиР способствует повышению согласованности работы ремонтных служб, сокращению времени согласования и распределения задач. Использование системы приоритетов обеспечивает повышенную оперативность принятия решений о выполнении срочных ремонтных мероприятий, что позволяет сократить среднее время реакции на внеплановые события. Процессный подход к управлению ТОиР способствует улучшению взаимодействия между ремонтными и производственными подразделениями, что снижает количество конфликтов между плановыми и внеплановыми работами.

4.2. Оптимизация планирования и выполнения работ

Использование методов динамического планирования позволяет гибко адаптировать графики ТОиР к изменениям в производственном процессе, снизив количество сбоев, связанных с несогласованностью между планами и фактическими условиями эксплуатации оборудования. Реализация концепции WLC способствует равномерному распределению загрузки ремонтных бригад, что уменьшает число перегрузок и простоев из-за нехватки персонала. Применение математических моделей MILP для оптимального распределения ремонтных работ позволяет сократить время выполнения ТОиР за счет рационального использования ресурсов.

4.3. Снижение внеплановых простоев

Использование риск-ориентированного подхода и аналитики отказов дает возможность сосредоточить усилия на критически важных узлах оборудования, что снижает вероятность отказов. Использование анализа данных из информационной системы позволяет заранее планировать необходимые ремонтные мероприятия и снизить аварийные остановки. При тестировании комплексного подхода количество внеплановых простоев оборудования уменьшилось, что привело к повышению общей эффективности производства.

4.4. Повышение уровня автоматизации

Переход к единой цифровой платформе для управления ТОиР позволяет централизовать данные о состоянии оборудования, автоматизировать учет выполнения

работ и обеспечить прозрачность процессов ТОиР. Автоматизация планирования на основе алгоритмов динамического планирования снижает трудозатраты на подготовку графиков ТОиР, ускорив процесс формирования оптимальных ремонтных планов.

Будущие исследования могут быть направлены на разработку методов машинного обучения для предсказания отказов оборудования с еще большей точностью, а также на интеграцию профилактического обслуживания с системой управления производственными процессами предприятия.

5. Выводы

Внедрение комплексного подхода к планированию профилактического технического обслуживания позволяет существенно повысить эффективность процессов ТОиР, снизить внеплановые простои, повысить надежность оборудования и оптимизировать использование ресурсов. Полученные результаты подтверждают, что интеграция организационных, методологических и инструментальных решений является эффективным способом повышения уровня технического обслуживания в промышленной компании.

Список литературы

1. Насонов, М. А. Стратегии технического обслуживания и ремонтов оборудования для применения на химическом предприятии // Достижения науки и технологий (ДНиТ-11-2023: Сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции (Красноярск, 27 февраля 2023 г.). – Красноярск: ОУ «ККДНиТ», 2023. – С. 418-427.
2. Chaabane, K. Integrated imperfect multimission selective maintenance and repairpersons assignment problem / K. Chaabane, A. Khatab, C. Diallo [et al.] // Reliability Engineering & System Safety. – 2020. – V. 199. – P. 106895.
3. Лавринов, Р. А. Совершенствование процессов управления техническим обслуживанием оборудования посредством внедрения цифровых технологий / Р. А. Лавринов А. А. Хомякова // Сборник научных трудов вузов России «Проблемы экономики, финансов и управления производством». – 2021. – № 49. – С. 97-106.
4. Khatab, A. Optimization of the integrated fleet-level imperfect selective maintenance and repairpersons assignment problem / A. Khatab, C. Diallo, E. H. Aghezzaf, U. Venkatadri // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2022. – V. 33 – №. 3. – P. 703-718.

5. Zhao, Y. Construction Theory for a Building Intelligent Operation and Maintenance System Based on Digital Twins and Machine Learning / Y. Zhao, N. Wang, Z. Liu, E. Mu // Buildings. – 2022. – V. 12 – № 2.
6. Насонов, М. А. Профилактическое обслуживание оборудования на промышленном предприятии химической отрасли: проблемы и подход к повышению эффективности / М. А. Насонов, С. А. Манцеров // Достижения науки и технологий (ДНИТ-III-2024): Сборник научных статей по материалам III Всероссийской научной конференции. – Красноярск: ОУ «ККДНИТ», 2024. – С. 170-178.
7. ГОСТ Р ИСО 18129-2016 Контроль состояния и диагностика машин. Подходы к контролю состояния машин по показателям их производительности: нац. стандарт Российской Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 ноября 2016 г. N 1771-ст.
8. Насонов, М. А. Концепция управляемой загрузки для ремонтных бригад на промышленном предприятии / М. А. Насонов // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы XIII международной научно-технической конференции. – Междуреченск: КГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2024.
9. Geisbush, Ja. Reliability centered maintenance (RCM): literature review of current industry state of practice / Ja. Geisbush, S. T. Ariaratnam // Journal of Quality in Maintenance Engineering. – 2023. – Vol. 29. – № 2. – P. 313-337.
10. Meng, L. MILP modeling and optimization of multi-objective flexible job shop scheduling problem with controllable processing times / L. Meng, Ch. Zhang, B. Zhang [et al.] // Swarm and Evolutionary Computation. – 2023. – V. 82. – P. 101374.
11. ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния. Часть 1. Общее руководство: нац. Стандарт Российской Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 ноября 2016 г. N 1770-ст.
12. Gupta, B.B. Analysis of the role of global information management in advanced decision support systems (DSS) for sustainable development / B.B. Gupta, P.K. Panigrahi // Journal of Global Information Management. – 2022. – № 31(2). – P. 1-3.