

doi: 10.51639/2713-0576_2026_6_2_131

Научная статья

УДК 69.002.5

ГРНТИ 67.17.31

ВАК 2.1.7

Синхронизация эксплуатационных мероприятий обслуживания и ремонта оборудования промышленных комплексов

Софья Евгеньевна Кравченко¹, Наталья Петровна Шкутко²
Филиал ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» в г. Новороссийске,
Новороссийск, Россия
shkutko.natalya@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены ключевые аспекты синхронизации эксплуатационных мероприятий, а также математические модели, обеспечивающие точный расчет временных интервалов для согласования технического обслуживания и ремонта, методология численного моделирования синхронизированных процессов.

Ключевые слова: синхронизация процессов, формализация параметров, численное моделирование, синхронизированное планирование.

Введение

В современных условиях эксплуатации сложных технических систем, таких как промышленные комплексы и транспортные сети, возрастает важность синхронизации мероприятий по обслуживанию и ремонту оборудования. Данная необходимость обусловлена требованиями к повышению надежности и минимизации простоев, что напрямую влияет на эффективность использования ресурсов. Актуальность синхронизации подтверждается ее соответствием глобальным задачам устойчивого развития промышленности, направленным на оптимизацию производственных процессов.

Ключевой проблемой при эксплуатации многоуровневых технических систем является несогласованность графиков обслуживания и ремонта. Задержка выполнения мероприятий на одном этапе часто приводит к каскадным простоям всего технологического цикла, вызывая значительное увеличение эксплуатационных затрат. Такая ситуация негативно сказывается на общей производительности систем и снижает их конкурентные преимущества в условиях интенсивной эксплуатации.

Анализ методов планирования

Обзор существующих подходов к планированию эксплуатационных мероприятий.

В рамках анализа существующих подходов к планированию эксплуатационных мероприятий выделяется ряд методов, классифицируемых по критериям временной эффективности и ресурсоемкости. Эти методы варьируются от реактивного ремонта до предиктивного обслуживания; каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Эффективность планирования напрямую зависит от способности метода минимизировать время простоя оборудования и оптимизировать использование ресурсов. Таким образом, выбор подхода определяется спецификой производственных процессов и требуемым уровнем надежности.

Традиционные подходы к планированию, такие как периодическое обслуживание, основываются на фиксированных интервалах выполнения работ, независимо от фактического состояния оборудования. В отличие от этого, современные методы, основанные на состоянии оборудования, используют данные мониторинга для прогнозирования потенциальных отказов и планирования обслуживания по мере необходимости. Этот сдвиг парадигмы позволяет значительно снизить затраты на обслуживание и увеличить срок службы активов. Применение таких методов, как проактивное обслуживание, позволяет предотвращать сбои до их возникновения, что повышает общую эффективность системы [1].

Идентификация ограничений и вызовов в синхронизации мероприятий

Синхронизация эксплуатационных мероприятий, включающих техническое обслуживание, ремонты и модернизации, сталкивается с рядом ключевых ограничений. Эти ограничения обусловлены различиями в периодичности, длительности и ресурсной потребности каждого типа работ. Отсутствие единой методологии планирования для всех видов деятельности усложняет процесс их согласования.

Критические аспекты несогласованности графиков обслуживания

Несогласованность графиков обслуживания приводит к возникновению временных и ресурсных конфликтов, которые оказывают существенное негативное влияние на общую производительность системы. Эти конфликты проявляются в виде задержек выполнения работ, неэффективного использования доступных ресурсов и увеличения операционных издержек. В результате, общая эффективность производственных процессов снижается, что может привести к значительным экономическим потерям. Таким образом, анализ последствий таких конфликтов является ключевым для понимания необходимости синхронизации эксплуатационных мероприятий.

Моделирование синхронизации мероприятий

Формализация параметров эксплуатационных мероприятий является основополагающим этапом для моделирования их синхронизации. Ключевые параметры включают продолжительность, периодичность и технологическую последовательность работ. Продолжительность определяет время, необходимое для выполнения отдельного мероприятия. Периодичность устанавливает интервалы между повторяющимися работами, а технологическая последовательность задает порядок их выполнения. Эти параметры обеспечивают структурированное представление эксплуатационных процессов [2].

Систематизация параметров позволяет учитывать специфику производственных циклов при моделировании синхронизации. Интеграция данных параметров в математические модели обеспечивает адекватное отражение реальных условий эксплуатации. Это создает основу для оптимизации графика работ и минимизации простоев. Таким образом, формализация параметров способствует повышению эффективности планирования эксплуатационных мероприятий.

Разработка математических моделей для учета временных интервалов и зависимостей.

Разработка математических моделей для учета временных интервалов и зависимостей является ключевым этапом в оптимизации синхронизации эксплуатационных мероприятий. Для описания временных характеристик мероприятий используются модели дискретного и непрерывного типа. Дискретные модели применимы для событий, происходящих в определенные моменты времени, тогда как непрерывные модели описывают процессы, развивающиеся на протяжении временных интервалов. Построение таких моделей позволяет формализовать длительность каждой операции, моменты начала и окончания, а также возможные задержки. Эти модели служат основой для анализа и прогнозирования поведения системы при различных сценариях планирования. Они обеспечивают количественное описание процессов, что является необходимым условием для эффективного планирования и оптимизации.

Учет технологических и логистических взаимозависимостей между операциями осуществляется посредством построения графов зависимостей и сетевых моделей. Эти методы позволяют наглядно представить последовательность выполнения работ и выявить критические пути. Взаимозависимости могут быть представлены как прямыми ограничениями на последовательность выполнения, так и условиями совместного использования ресурсов или временных окон.

Интеграция факторов нагрузки и ресурсных ограничений в модели

Формализация эксплуатационных факторов является критически важным этапом для построения адекватных моделей синхронизации мероприятий. Это включает в себя учет пиковых нагрузок, которые могут существенно влиять на доступность ресурсов и потребность в обслуживании. Кроме того, сезонные колебания, обусловленные климатическими или производственными циклами, требуют особого внимания при планировании. Необходимо также учитывать человеческий ресурс как один из ключевых факторов, определяющих возможности выполнения эксплуатационных работ. «Математические модели, адекватно описывающие реальные бизнес-процессы, должны учитывать неопределенность будущих состояний экономики, финансов, конъюнктуры рынка, цен на факторы производства и энергоносители, объемов инвестиций, шансы, риски, и прочие факторы неопределенности» [3]. Интеграция этих аспектов позволяет создавать более реалистичные и прогностические модели.

Разработка алгоритмов оптимизации синхронизации мероприятий в условиях ограниченной доступности технических средств и персонала представляет собой сложную задачу. Эти алгоритмы должны учитывать не только временные параметры, но и ресурсные ограничения, такие как количество доступных специалистов или единиц оборудования. «Внедрение ЕАМ-систем позволяет до 30 % увеличить срок полезного использования оборудования, до 20 % сократить его простои, до 80 % повысить долю плановых ремонтов, на треть сократить сверхурочные и аварийные работы, случаи нехватки запасов для выполнения ремонтных работ, существенно увеличить производительность персонала» [4]. Эффективное управление этими ограничениями позволяет минимизировать издержки и повысить общую производительность.

Обоснование принципов расчета

Методология численного моделирования синхронизированных процессов.

Разработка методологии численного моделирования для синхронизированных процессов требует определения ключевых параметров, которые непосредственно

вливают на эффективность эксплуатационных мероприятий. Эти параметры включают временные интервалы между операциями, зависимости между различными видами работ, а также ресурсные ограничения, такие как доступность оборудования и персонала. Точное их формализованное описание является фундаментом для построения адекватной модели, способной отразить динамику реальных производственных систем.

Верификация разработанной модели осуществлялась путем ее сопоставления с эталонными производственными процессами, что позволило оценить точность и адекватность предложенного подхода. В ходе этого процесса сравнивались выходные данные модели с фактическими результатами, полученными в реальных условиях эксплуатации. Такой подход гарантирует, что модель не только теоретически обоснована, но и способна воспроизводить поведение системы с высокой степенью достоверности, как было отмечено в главе, где «была разработана методология численного моделирования для проверки предложенных принципов синхронизации эксплуатационных мероприятий».

Рекомендации по применению синхронизированного планирования

Применение синхронизированного планирования эксплуатационных мероприятий требует тщательной адаптации к уникальным условиям каждого предприятия. Это включает в себя анализ отраслевой специфики, которая определяет типы оборудования, режимы его эксплуатации и критичность отказов. Кроме того, необходимо учитывать производственные мощности, доступность ресурсов и существующие технологические процессы. Важно подчеркнуть, что «основная методика может быть модифицирована под нужды конкретного предприятия или внедряемой системы, а также современные технические возможности позволяют воспользоваться уже готовыми автоматическими решениями – калькуляторами, требующими только ввода необходимых значений» [5].

Заключение

Предложенные принципы расчета синхронизации эксплуатационных мероприятий эффективно решают проблему несогласованных графиков, выявленную в ходе анализа существующих методов планирования. Они позволяют минимизировать простой оборудования и предотвратить каскадные задержки в многоуровневых операциях. Результаты численного моделирования подтверждают способность данного подхода устранять ключевые ограничения, связанные с несогласованностью.

Разработанные математические модели обеспечивают точный расчет временных интервалов для согласования технического обслуживания и ремонта. Эти модели интегрируют такие ключевые факторы, как нагрузка и ресурсные ограничения, что позволяет адаптировать их к реальным условиям эксплуатации. Таким образом, они предоставляют надежную основу для предиктивного планирования мероприятий.

Практическое внедрение предложенного подхода способствует устойчивому развитию промышленности за счет оптимизации энергопотребления и ресурсопользования. Он также предоставляет инженерам эффективный инструмент для повышения надежности сложных технических систем. Это соответствует актуальным задачам, связанным с ростом требований к эксплуатационной эффективности.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что на момент подачи статьи в редакцию, у них нетвозможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников

1. Стратегии технического обслуживания и ремонта: статья // Сайт компании ТЭСС. — 2025.
2. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
3. Мадера, А. Г. Моделирование и оптимизация бизнес-процессов и процессных систем в условиях неопределённости / А. Г. Мадера // Бизнес-информатика. — 2017. — № 4.
4. Чуднова, Г. А. Организация ремонтов и технического обслуживания оборудования / Г. А. Чуднова, А. С. Кислов. — Москва: ООО «1С-Публишинг», 2023. — 342 с.
5. Паршина, И. С. Рентабельность инвестиций (ROI) в проекты внедрения исполнительных производственных систем (MES) на российских предприятиях / И. С. Паршина // Научно-технические технологии в машиностроении. — 2020. — № 3. — С. 37–43.

Synchronization of operational activities. Calculation principles

Sofia Evgenievna Kravchenko¹, Natalia Petrovna Shkutko²
*Branch of the Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov in Novorossiysk,
Novorossiysk, Russia*
shkutko.natalya@yandex.ru

Abstract

The article examines key aspects of synchronization of operational activities, as well as mathematical models that provide accurate calculation of time intervals for coordinating maintenance and repairs, and the methodology of numerical modeling of synchronized processes.

Keywords: process synchronization, parameter formalization, numerical modeling, synchronized planning.