

УДК 331.1 DOI: 10.14451/1.255.340

Повышение экономической эффективности эксплуатации электрооборудования за счет совершенствования алгоритма ERP – системы промышленного предприятия

© 2026 **Плеханова Анна Феликсовна**

Профессор кафедры финансов и кредита, доктор экономических наук. Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород.

E-mail: docplekhanova@gmail.com

© 2026 **Сухарев Дмитрий Юрьевич**

Аспирант. Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород.

E-mail: sukharev_dju@mail.ru

Ключевые слова: промышленное предприятие, повышение эффективности, экономический эффект, электрооборудование, распределение ремонтного бюджета, снижение затрат, автоматизированный расчет показателей.

В настоящей статье автором рассматриваются проблемы выбора оптимальной ремонтной программы для единиц электрооборудования промышленного предприятия с целью повышения общей экономической эффективности эксплуатации и снижения эксплуатационных затрат. Для решения задачи автором предлагается способ совершенствования алгоритма расчета корпоративной системы планирования ресурсов (ERP – enterprise resource planning) предприятия, обеспечивающей автоматизированный расчет экономического эффекта и других ремонтных параметров от внесения изменений в стратегию ремонта и выбор оптимального варианта технического обслуживания в заданном горизонте планирования. В качестве примера приводятся результаты расчета нескольких показателей для отдельной единицы электрооборудования предприятия. При практическом применении подхода в условиях неравномерной загрузки производственных мощностей, в течение 18 месяцев метод продемонстрировал свою эффективность и применимость для решения практических задач оптимизации ремонтных программ электрооборудования и повышения общей экономической эффективности его эксплуатации.

Введение

В современных условиях нестабильного спроса на выпускаемую предприятием продукцию и текущего состояния экономики для поддержания должного уровня конкурентоспособности,

и выживания предприятия в бизнес-среде, необходимо постоянно совершенствовать его технологические и технико-экономические процессы. Результатом такой оптимизации должно стать повышение общего уровня

эффективности его функционирования. С экономико-технической точки зрения, снижение эксплуатационных затрат может быть достигнуто за счёт повышения общей эффективности работы технологического оборудования, в частности электрооборудования энергетической инфраструктуры, которое занимает важное место как в технологии, так и в общей структуре оборудования любой технологической цепочки. Поддержание и повышение эффективности эксплуатации этой важной группы оборудования предприятия является одной из ключевых задач управления энергохозяйством предприятия. Решение этой задачи дает возможность значительно снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Техническое обслуживание и ремонт представляют собой комплекс технико-экономических и организационных мероприятий, направленных на сохранение эксплуатационных свойств и работоспособности оборудования в процессе его эксплуатации [2], как части любой производственной цепочки или выполняемой им задачи. Кроме того, любое оборудование предприятия, в частности электросетевое оборудование, является его активом. Организация наиболее эффективной отдачи от любого актива может быть достигнута его эффективным управлением [13; 15], к которому среди прочего может быть отнесено и его техническое обслуживание.

Система электроснабжения предприятия имеет несколько отличий от более сложных высоковольтных межсистемных сетей электросетевых предприятий: она значительно проще по схеме, структуре и составу включенного в нее оборудования. Однако в процессе совершенствования и автоматизации производственных процессов, повышаются и требования к организации и эффективности электроснабжения технологического оборудования для обеспечения максимально высокой эффективности производства в целом. Наиболее высокие требования, как правило, предъявляются к таким характеристикам внутренней системы электроснабжения предприятия, как экономичность и надёжность. При этом на действующем производственном

предприятии свойство надёжности понимается не как непрерывность электроснабжения (что может быть обеспечено применением различных схемных решений), а как безотказная работа её элементов. Достигается она благодаря правильно выбранной оптимальной стратегии технического обслуживания. Более того, при рассмотрении параметров системы электроснабжения основным «рычагом» снижения эксплуатационных затрат принято считать именно снижение расходов на техническое обслуживание и ремонт, а также одним из следствий затраты на содержание ремонтного персонала.

Исследования показывают, что сочетание различных ремонтных воздействий на любой локальный парк оборудования предприятия может включать в себя большое количество различных характеристик, изменение каждой из которых приводит к изменению эффективности эксплуатации и достигаемой надёжности электроснабжения [6]. Так как использование единой образной многофакторной системы ремонта для различных групп оборудования даже на одном предприятии может давать разную эффективность [11], то становится очевидной необходимость применения специальных инструментов – программных продуктов для оценки эффекта от вносимых в ремонтную программу изменений. Для учёта и контроля некоторых факторов, характеризующих систему технического обслуживания, на средних и крупных предприятиях применяются специализированные программные комплексы, которые объединяет общее название – системы планирования ресурсов.

При необходимости выбора оптимальной стратегии технического обслуживания оборудования в условиях переменного спроса на продукцию такие функции, как возможность ведения учёта оборудования, формирование графиков ремонтов, автоматическое формирование заявок и заказ запасных частей, контроль расхода ремонтных ресурсов и пр., отходят на второй план. Первостепенной задачей становится оперативный мониторинг технико-экономических показателей, показателей надёжности оборудования и величины возможного риска

от реализации той или иной ремонтной стратегии [3]; перечисленный функционал, как правило, отсутствует в существующих программных пакетах.

Цель данной статьи – предложить научно-обоснованный алгоритм автоматизированного расчёта ключевых показателей эффективности системы технического обслуживания электрооборудования промышленного предприятия и интегрировать его в существующую систему ремонта на действующем промышленном предприятии.

Актуальность настоящего исследования обусловлена тем, что в современных условиях необходимости всеобъемлющего снижения затрат на эксплуатацию оборудования предприятия и поддержания должного уровня конкурентоспособности на рынке с неравномерным спросом на продукцию, достаточно остро стоит задача создания некоей автоматизированной среды, позволяющей сделать систему технического обслуживания и ремонта электрооборудования прозрачной и понятной, с целью исключения возможности перерасхода всех видов ремонтных ресурсов на поддержание его работоспособности и надёжности, а также минимизации затрат на обслуживание тех единиц оборудования, надёжность которых не является критичной.

Материалы и методы

При проведении исследования были использованы методы: анализ, классификация, обобщение, опросы ремонтного персонала и руководителей ремонтных служб, статистическая обработка данных. Были проанализированы базы данных по выполненным работам по техническому обслуживанию электрооборудования промышленного предприятия, бухгалтерская и финансовая отчётность, включая списки номенклатурных позиций, использованных при ремонтах; проведены детальные замеры продолжительности ремонтных работ, выполненных на электроустановках предприятия, и дополнительных операций. Полученные данные проверялись на соответствие данным информационных систем

предприятия. Кроме того, вся имеющаяся информация об аварийных отказах оборудования энергетической инфраструктуры на исследуемом промышленном предприятии была структурирована с целью получения прогнозных значений вероятности отказов электрооборудования для различных типов и комбинаций ремонтных воздействий на основе имеющейся статистической информации. В данном исследовании при расчёте показателей использовались те единицы оборудования, для которых удалось получить надёжный прогноз. Перечень основной информации, обрабатываемой в ходе исследования, приведён в таблице 1.

Поскольку сбор перечисленных данных выполнялся на протяжении 10 лет с целью исключения недостоверных или некачественных данных в процессе выполняемого исследования, принимались во внимание только те данные, которые были подтверждены как минимум тремя источниками. Например, при необходимости подтверждения выполнения аварийного ремонта факт его выполнения проверялся путем проверки списания материалов со склада, проверки архивных нарядов-допусков на выполнение работ и распоряжений, электронных журналов и ведомостей произведенных на дату отказа ремонтно-восстановительных работ, в которых сохранилась в том числе информация о принятой стратегии технического обслуживания. Данные, не подтвержденные несколькими источниками, при расчетах не использовались.

Требования к качеству исходных данных исследования существенно ограничивали перечень технических единиц оборудования, которые могли быть использованы для проведения исследования, поскольку только 10–15% оборудования предприятия имели достаточно подробную и продолжительную учтённую историю эксплуатации. Широкое внедрение различных электронных систем учета, в значительной мере, решает эту проблему. В будущем такие расчеты будут значительно проще.

Таблица 1. Перечень основной информации, обработанной в процессе проведения данного исследования.

Документ – источник данных	Содержание документа, используемое в исследовании
Паспорта оборудования	Паспортная производительность оборудования
	Технические характеристики оборудования
	Требования завода-изготовителя к способу организации ремонта
Оперативная документация	Перечень оборудования системы, характеристики среды установки и условия его эксплуатации
	Сведения о режимах работы рассматриваемого оборудования
Нормативная документация	Природоохранные требования, стандарты качества и безопасности;
	Требования действующих нормативных документов на оборудование
Журнал дефектов, Журнал учета сбойных ситуаций	Статистика возникающих в процессе эксплуатации неисправностей и отказов оборудования
База технических решений ремонта и обслуживания	Набор ремонтных воздействий на различные единицы оборудования
План производства, производственная программа предприятия	Сценарные условия функционирования объекта (производственный план, прогноз экономических показателей предприятия и т.д.)

Объектом исследования являлась система технического обслуживания оборудования энергетической инфраструктуры промышленного предприятия, а в качестве предмета исследования автором рассматривалась совокупность организационно-экономических зависимостей различных сочетаний ремонтных воздействий от продолжительности простоев и поломок основного технологического оборудования предприятия, объёма учтённых ремонтных затрат и показателей надёжности оборудования.

Было установлено, что оборудование энергетической инфраструктуры промышленного предприятия, как правило, обслуживается по регламенту. Обслуживание оборудования по регламенту в теории ремонтов представляет собой вид технического обслуживания, при котором полный объём ремонтных воздействий выполняется в соответствии с заранее установленным планом или программой ремонта, независимо от его фактического состояния и степени износа на момент наступления даты технического обслуживания. Периодичность ремонтов и набор ремонтных операций выбираются в зависимо-

сти от типа оборудования, условий и среды его эксплуатации и других значимых организационно-технических факторов [10; 16]. В ходе реализации ремонтной программы ремонта электрооборудования предприятия, заказ и учёт материалов, рабочего времени персонала, выполненных работ и проводки по бухгалтерскому учёту ведутся в ERP-системе предприятия. Подобный подход к ремонтам и их учёту позволяет отслеживать рабочее время и материалы, но не даёт возможности определить, соответствует выбранная программа (стратегия) ремонта для данной единицы электрооборудования оперативному производственному плану предприятия. Применяя существующие информационные инструменты, можно лишь рассчитать затраты на обслуживание единицы оборудования за заданный период, но нельзя определить возможность технической единицы, участвующей в процессе производства, обеспечить выполнение этого плана.

Опрос ремонтного персонала промышленного предприятия, задачи которого включают повышение эффективности ремонтов и оптимизацию

затрат на техническое обслуживание и ремонт, также показал, что вышеуказанного функционала существующих на рынке программных пакетов, недостаточно для оперативного расчёта эффекта от изменения программы ремонта и проверки соответствия такой программы плану производства предприятия. Сложность здесь заключается в том, что для корректного прогнозирования продолжительности перерывов в работе оборудования и возникающих затрат на внеплановые аварийные ремонты, необходимо иметь надёжный прогноз работоспособности оборудования для каждого типа набора ремонтных воздействий – ремонтных программ [8]. Показатели надёжности должны и могут быть рассчитаны на основе продолжительного периода наблюдений или проведенных в условиях среды эксплуатации, специальных испытаний на надёжность [5; 12]. В настоящее время, ремонтные службы предприятий не располагают достаточной историей обслуживания и эксплуатации оборудования для выполнения необходимых расчётов показателей надёжности. Более того, ряд промышленных предприятий не имеет разработанной методологии выбора программы ремонта для оборудования распределительных сетей, в том числе методологии, основанной на использовании риск-ориентированного подхода [7; 9; 14]. Данная ситуация объясняется особенностями государственного регулирования отрасли и действующими нормами [1].

При расчёте эффекта от реализации той или иной стратегии технического обслуживания электрооборудования, персонал, участвующий в системе планирования ремонтов, рассчитывает показатели по схеме, представленной на рисунке 1, фактически, как было сказано выше, представляя любое техническое обслуживание двумя параметрами – продолжительностью ремонта и его стоимостью.

На протяжении исследуемого периода, расчет показателей процесса ремонта проводился в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2.

Как видно из расчетной схемы, представленной на рисунке 2, при расчете использовался такой

показатель, как «Вероятность отказа», для получения его достоверного значения за исследуемый период, автором была обработана статистическая информация об отказах рассматриваемых единиц оборудования, при реализации различных ремонтных программ/стратегий за десятилетний период.

Длительность интервала, между отказами, при нормальной работе элемента сети электроснабжения радиальной сети промышленного предприятия можно считать распределенной по экспоненциальному закону. Оценка самих параметров потока отказов системы, для схемы электроснабжения предприятия зависит уже от оценок параметров потока отказов ее элементов. Таким образом, неэкспоненциальные законы распределения продолжительности возникающих в процессе эксплуатации, ремонтных работ, не могут повлиять на количественную оценку этого показателя. В подобных расчетных моделях, в соответствии с [4], оценка параметра потока отказов, относительно рассматриваемого узла подчиняется закону Пуассона.

Таким образом, в ходе исследования и выполняемых автором расчетов, было сделано предположение, что оцениваемый элемент системы электроснабжения рассматривался как восстанавливаемый и вероятность его выхода из строя оценивалась с использованием закона Пуассона. На этом основании, были получены показатели времени работы (до отказа, между отказами, до предельного состояния) и показатели типа вероятности (вероятность безотказной работы, вероятность восстановления за заданное время), которые, в сочетании с учтёнными данными функционирующих информационных систем предприятия, позволяют получить полный набор показателей, полно характеризующих, рассматриваемую программу ремонта для некоторых типов электрооборудования.

Результаты

В качестве примера в таблице 2 представлены показатели двух стратегий обслуживания высоковольтного полупроводникового преобразователя, работающего в тяжелых для электрооборудования условиях эксплуатации. Каждая

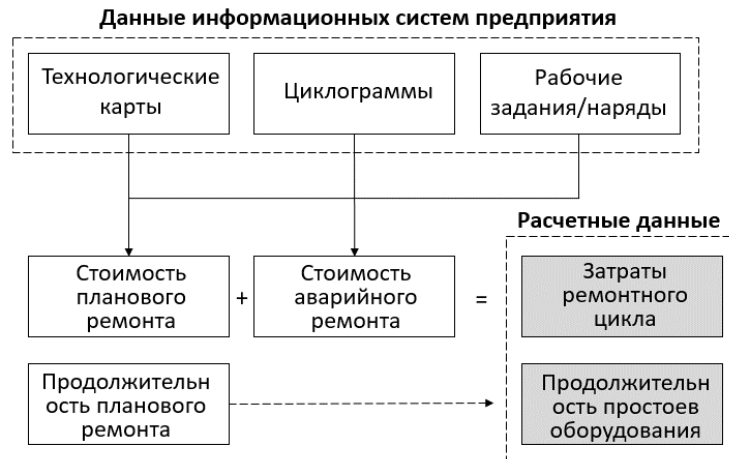


Рис. 1. Существующая схема расчета показателей ремонтной программы электрооборудования.

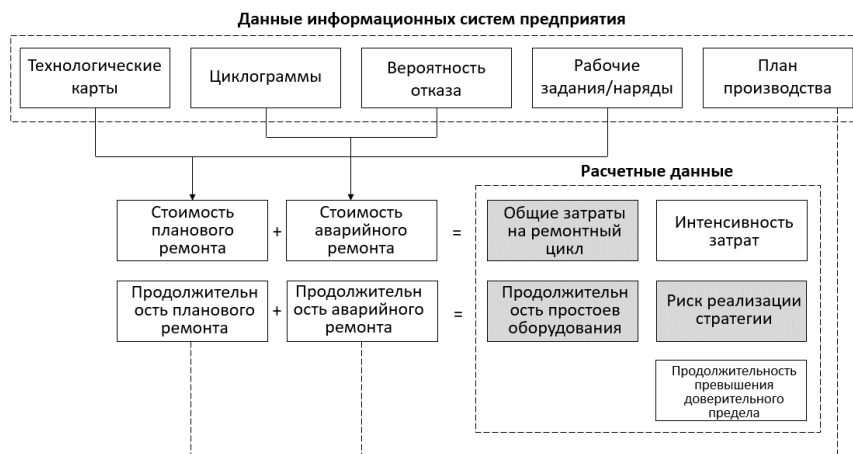


Рис. 2. Схема расчета показателей реализованной программы ремонта электрооборудования.

из двух стратегий предложена производителем (в соответствии с паспортом) и предназначена для различных условий эксплуатации. Преобразователь непосредственно участвует в ос-

новном технологическом процессе и, являясь электротехнологической установкой, не имеет резерва.

Таблица 2. Показатели стратегий ремонта рассматриваемого агрегата за рассматриваемый период.

Общая характеристика стратегии технического обслуживания	Вариант обслуживания	
	Стратегия № 1	Стратегия № 2
Стоимость используемых материалов, руб./год	63 258,36	95 873,15
Затраты на оплату труда (ремонт), руб./год	14 850,00	18 810,00
Затраты на оплату труда (подготовка рабочих мест), руб./год	1237,50	1237,50

Продолжение на следующей странице

Таблица 2. Показатели стратегий ремонта рассматриваемого агрегата за рассматриваемый период. (Продолжение таблицы)

Общая характеристика стратегии технического обслуживания	Вариант обслуживания	
	Стратегии № 1	Стратегия № 2
Сопутствующие расходы (транспортировка, расходные и вспомогательные материалы и т.д.), руб./год	1254,10	1945,70
Продолжительность ремонтных работ, в/год	6	7,6
Продолжительность работ по подготовке рабочих мест, ч/год	0,5	0,5

Диаграммы, представленные на рисунке 3, демонстрируют основные показатели, учитываемые специалистом по организации и планированию технического обслуживания оборудования, при выборе программы ремонта, которая исходя из ограничений продолжительности (производительности) и бюджетных ограничений выбирает наиболее приемлемый в данных условиях вариант. Несмотря на то, что в исследовании рассматривались и сравнивались только два подхода к ремонту единицы оборудования, предложенные производителем, эксплуатирующее предприятие может влиять на стоимость работ, например, путем использования аналогов за-

пасных частей и материалов, изменения и оптимизации затрат на персонал, любым из доступных организационных методов. Изменения затрат в перечисленных случаях будут отражены в таблице основных характеристик ремонтной программы.

На основе собранных данных, автором были получены показатели надежности рассматриваемой единицы оборудования, в том числе величина вероятности отказа, представленная в таблице 3, дополняющей данные таблицы 2. Графики вероятностей отказа для каждой из двух рассматриваемых стратегий представлены на рисунке 4.

Таблица 3. Показатели стратегий ремонта рассматриваемого агрегата за рассматриваемый период с учетом риска выхода оборудования из строя.

Общая характеристика стратегии технического обслуживания	Вариант обслуживания	
	Стратегии № 1	Стратегия № 2
Вероятность отказа при реализации стратегии (за годовой период)	0,39	0,17
Сумма ущерба от простоя единицы оборудования, р/час;	872 000,50	

Поскольку вероятность отказа – это в условиях эксплуатации, по сути, вероятность аварийного ремонта, в таблице 4 отдельно представле-

ны основные параметры аварийного варианта обслуживания рассматриваемой технической единицы оборудования.

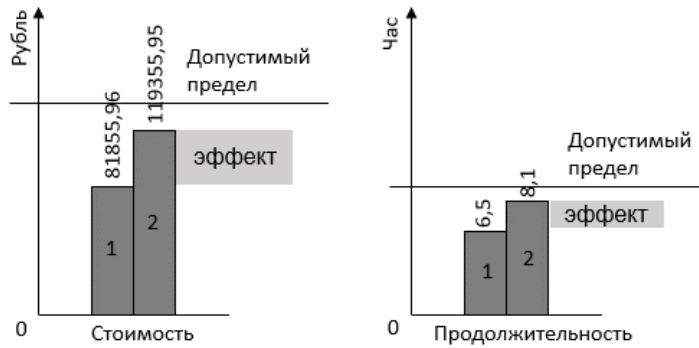


Рис. 3. Основные критерии выбора ремонтной программы.

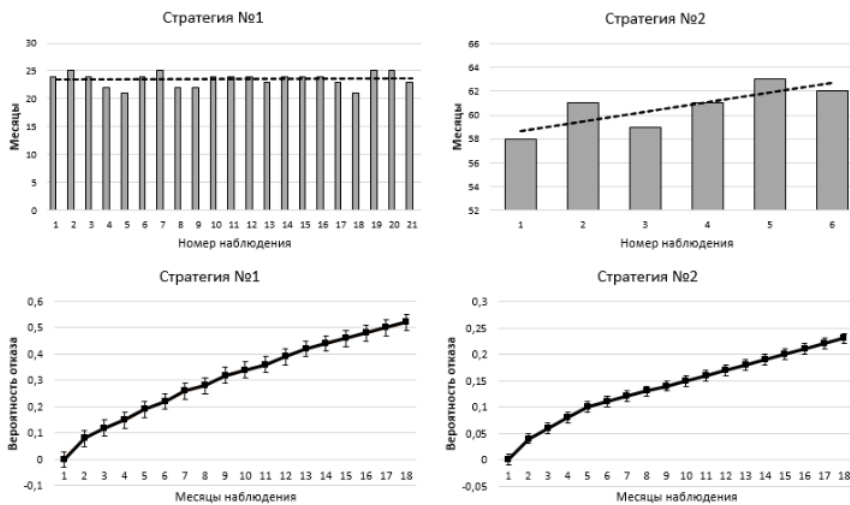


Рис. 4. Графики вероятности отказа для каждой из двух рассматриваемых стратегий.

Таблица 4. Показатели аварийных ремонтов рассматриваемой единицы оборудования.

Статья затрат/продолжительность выполнения ремонтной операции	Объем затрат, руб.
Стоимость использованных материалов, руб.	78 258,36
Трудозатраты затраты ремонт, руб.	3712,50
Трудозатраты (подготовка рабочих мест), руб.	1237,5
Сопутствующие расходы (транспортировка, расходные и вспомогательные материалы и т.д.), руб.	1254,10
Продолжительность ремонтных работ, ч	1,5
Продолжительность работ по подготовке рабочих мест, ч	0,5

Таким образом, выполняя расчет по второй, альтернативной вычислительной процедуре, специалист по планированию ремонта, получает уже три параметра, которые в совокупности позволяют рассчитать как величину риска от реализации стратегии, так и величину снижения производительности оборудования, в случаях

когда приемлем даже высокий риск отказа (например, при низкой производственной нагрузке/отсутствии заказов). На рисунке 5 показан дополнительный набор графиков, обрабатываемых ремонтным персоналом при выборе программы ремонта.

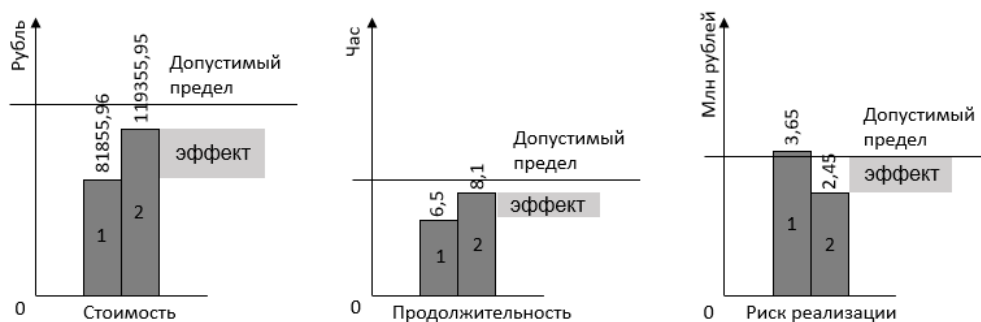


Рис. 5. Дополненный набор данных для принятия решений.

Представленный набор характеристик, позволяет более точно планировать ремонт оборудования, в отличие от традиционного подхода, особенно в условиях неравномерной загрузки производства, когда величина риска может меняться довольно часто (в периоды максимальной и минимальной нагрузки). В ходе применения метода на действующем оборудовании сотрудники промышленного предприятия, непосредственно принимающие решения по выбору программы ремонта различных единиц электрооборудования, отметили возможность гораздо более точного планирования при использовании данного подхода, реализованного на специализированном программном обеспечении и дополняющего стандартный набор данных действующей ERP-системы предприятия.

В течение продолжительного периода, используя данные о прогнозах отказов рассматриваемого элемента системы электроснабжения и дополненный расчетный алгоритм, ремонтному подразделению удалось избежать unplanned простоев оборудования в периоды высокой загрузки производства и невыполнения производственного плана.

Результаты и обсуждение

В процессе проведения данного исследования, автором были получены следующие результаты:

1. Промышленные предприятия всех отраслей промышленности, в условиях сегодняшних вызовов, остро нуждаются в методологии и инструментах – специализированном программном обеспечении, позволяющих оце-

нить ту или иную ремонтную программу с учетом риска ее реализации. Для обеспечения должного уровня достоверности результатов применения таких инструментов, необходимо разработать научно-обоснованные решения и положения в области прогнозирования отказов элементов системы электроснабжения.

2. Показано, что для комплексной и всесторонней оценки любой ремонтной программы, необходимо учитывать три основных критерия: стоимость реализации, продолжительность остановок на ремонты (аварийные и плановые), величину риска от реализации программы.
3. Предложен и сформулирован метод для автоматизированной оценки последствий внесения изменений в программу ремонта электрооборудования промышленного предприятия. Метод был применен при планировании технического обслуживания электрооборудования действующего промышленного предприятия и показал свою экономическую эффективность.
4. Показано, что для повышения общей экономической эффективности системы технического обслуживания оборудования, необходимо иметь данные об истории его эксплуатации и отказах в различных режимах работы, с учетом различных внешних факторов, влияющих на его эксплуатационные режимы. Достоверные и качественные эксплуатационные данные позволят получить наиболее точный прогноз отказов при реализации различных ремонтных программ.

Библиографический список

1. Антоненко И. Н. Риск-ориентированный подход к управлению производственными активами в энергетике // Энергоэксперт. – 2020. – 1 (23). – С. 26–33.
2. Биард Г., Нур Г. А. Вклад индустрии 4.0 в управление активами в электротехнической промышленности // Устойчивое развитие. – 2021. – 13(18). – С. 10369.
3. Гительман Л. Д., Кожевников М. В., Чеботарева Г. С. Управление активами энергетической компании на основе риск-ориентированной стратегии // Производство и управление энергией в 21 веке. – 2022. – Т. 246. – С. 125–135.
4. Государственный стандарт 61124-2016. Статистические методы. Планирование и обработка результатов контрольных испытаний при постоянной частоте отказов и параметре потока отказов. – М. : Стандартинформ, 2017. – 108 с.
5. Жиркин Ю. В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин. – М. : Теплотехник, 2009. – 330 с.
6. Кац Б. А. Из истории создания системы планово-предупредительного ремонта // Главный механик. – 2013. – № 11. – С. 19–26.
7. Левин В. М., Гужов Н. П. Прогнозная оценка рисков прекращения электроснабжения потребителей нефтедобычи с учетом изменения значимых факторов // Энергетика: исследования, оборудование, технологии. – 2022. – 24(5). – С. 84–96. – DOI: [10.30724/1998-9903-2022-24-5-84-96](https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-5-84-96).
8. Левин В. М., Гужов Н. П., Черненко Н. А. Методология управления ремонтами оборудования в электрических сетях нефтепромыслов // научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2020. – 2–3(79). – С. 139–155.
9. Овчинникова Т. И., Потоцкий Е. П., Фирсова В. М. Риск-ориентированный подход при оценке опасностей в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 199–208. – DOI: [25.10.2018/0236-1493-2021-21-0-199-208](https://doi.org/10.2018/0236-1493-2021-21-0-199-208).
10. Петросенко А. В., Тульский В. Н. Применение многокритериального подхода и комбинированного анализа в формировании производственной программы организаций // Электроэнергия. – 2019. – 1 (52). – С. 22–29.
11. Синягин Н. Н. Система планово-предупредительного ремонта электрооборудования промышленных предприятий. – М. : Энергия, 1984. – 446 с.
12. Чиченев Н. А. Надежность технологических машин. – М. : МИСиС, 2019. – 264 с.
13. Khuntia S. R., Rueda J. L., Bouwman R. S. A literature survey on asset management in electrical power [transmission and distribution] system // International Transactions on Electrical Energy Systems. – 2016. – 26(10). – P. 2123–2133.
14. Kisuule M., Hernando-Gil I., Serugunda J. Stochastic Planning and Operational Constraint Assessment of System-Customer Power Supply Risks in Electricity Distribution Networks // Sustainability. – 2021. – No. 13. – P. 9579. – DOI: [10.3390/su13179579](https://doi.org/10.3390/su13179579).
15. M'arquez A. C., Macchi M., Parlikad A. K. Value Based and Intelligent Asset Management: Mastering the Asset Management Transformation in Industrial Plants and Infrastructure / Springer Nature Switzerland AG. – 2020.
16. Moubray J. Reliability-centered Maintenance. – 2nd ed. – NY : Industrial Press Inc, 1997. – 426 p.