

Жонибек Ашурович Мавлонов¹, Музаффар Каримтошевич Сайидов²

^{1,2}Навоийский государственный горно-технологический университет,
Навои, Республика Узбекистан
sayidov2024@mail.ru

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. На современном этапе особое значение приобретают научные исследования и практические разработки в области технического мониторинга и диагностики оборудования на энергетических предприятиях, а также в направлении совершенствования систем управления ремонтными процессами. Актуальность данной тематики обусловлена возрастающим износом энергетического оборудования, большая часть которого эксплуатируется на предельных режимах. В ближайшей перспективе прогнозируется увеличение объемов вывода из эксплуатации морально и физически устаревших элементов производственной инфраструктуры. В этой связи возникает объективная необходимость в глубоком анализе и систематизации показателей ремонтной деятельности, а также в модернизации существующих методов оценки технического состояния и планирования ремонтов. Широкое распространение цифровых технологий открывает новые горизонты для повышения эффективности ремонтного управления. В работе рассматриваются современные подходы к оптимизации процессов обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Приводится обзор теоретико-методологических основ функционирующих систем техобслуживания и ремонта, выполнен сравнительный анализ их эффективности. Также предложена модель расчета удельных затрат как ключевого критерия оценки ремонтной производительности.

Ключевые слова: удельные затраты, коэффициент восстановления, коэффициент загрузки, эффективный срок ресурса, анализ надежности, индекс ремонтной сложности, нормирование затрат, эксплуатационная эффективность

Jonibek Ashurovich Mavlonov¹, Muzaffar Karimtoshevich Sayidov²

^{1,2}Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan
sayidov2024@mail.ru

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF APPROACHES TO OPTIMIZATION OF REPAIR PROCESS MANAGEMENT AT ENERGY ENTERPRISES

Abstract. *At the present stage, scientific research and practical developments in the field of technical monitoring and diagnostics of equipment at power enterprises, as well as in the direction of improving repair process management systems, are of particular importance. The relevance of this topic is due to the increasing wear of power equipment, most of which is operated at extreme modes. In the near future, an increase in the volume of decommissioning of morally and physically obsolete elements of the production infrastructure is predicted. In this regard, there is an objective need for a deep analysis and systematization of repair activity indicators, as well as for the modernization of existing methods for assessing the technical condition and planning repairs. The widespread use of digital technologies opens up new horizons for improving the efficiency of repair management. The paper considers modern approaches to optimizing the processes of maintenance and repair of power equipment. An overview of the theoretical and methodological foundations of functioning maintenance and repair systems is provided, a comparative analysis of their effectiveness is performed. A model for calculating specific costs as a key criterion for assessing repair productivity is also proposed.*

Keywords: *specific costs, recovery factor, load factor, effective service life, reliability analysis, repair complexity index, cost standardization, operational efficiency*

Введение. На сегодняшний день актуальность рассматриваемой темы объясняется высоким уровнем требований, заложенных в энергетической стратегии Республики Узбекистан, утвержденной на период до 2030 года. Этот документ описывает ключевые задачи, направленные на улучшение состояния энергетического сектора и повышение его управляемости. В ходе анализа методов оптимизации процессов ремонта было выявлено, что наиболее подходящими для энергетических предприятий с точки зрения автоматизации и цифровизации являются интегрированные модульные системы управления.

Изучив международный опыт в области управления ремонтом, можно отметить, что акцент делается не на продлении срока службы оборудования, а на его замене по истечении установленного эксплуатационного ресурса. Помимо этого, имеются значительные различия в нормативных документах, касающихся диагностики, испытаний, обслуживания и ремонта, что делает невозможным использование зарубежных систем оценки технического состояния для отечественных энергосистем.

При этом любые нововведения в системе неизбежно сталкиваются с сопротивлением на всех уровнях, что делает внедрение даже самых про-

грессивных технологий затруднительным. Следовательно, для успешного внедрения новых систем, направленных на управление ремонтом, потребуется значительное время – минимум три года. Следует отметить, что зарубежные системы управления ремонтом в первую очередь ориентированы на замену оборудования по окончании срока его службы, не учитывая возможности продления его эксплуатации [1]. Кроме того, на данный момент важнейшими направлениями являются исследования в области мониторинга и диагностики оборудования электростанций, что связано с ускоряющимся процессом старения энергетических объектов. В связи с этим в ближайшие годы ожидается значительное увеличение объема вывода из эксплуатации основного производственного фонда, который уже работает на пределе своих возможностей. Это подчеркивает необходимость комплексного подхода к изучению показателей ремонтной деятельности и совершенствования методов оценки ремонтной активности.

Анализ существующих методов оценки и оптимизации управления ремонтными процессами на энергетических предприятиях

На данный момент уже накоплен достаточный опыт поиска различных подходов к решению задачи оптимизации управления ремонтами, который реализуется во множестве методов анализа отказов оборудования. К таким методам можно отнести следующие: качественный метод, причинный анализ, пространственный анализ, анализ Парето [2], контрольные карты Шухарта, количественный метод, временной анализ, методы расчета показателей надежности [3]. Рассмотрим современные методы анализа технического состояния оборудования, наиболее известные методы оценки состояния оборудования, методы анализа подробнее.

Качественный метод, основанный на совместном анализе совокупных данных об отказах оборудования, позволяет выявить логические закономерности их возникновения. Данный метод относительно недорог в сборе, подготовке и первичной обработке данных, но требует значительных интеллектуальных затрат, хорошего знания оборудования и понимания его процессов для успешного применения. Вывод на основе имеющихся выборок данных должен делать сам специалист, а не система, что во многом зависит от уровня его экспертности.

Причинно-факторный анализ – выявление типичных проблем, характерных для конкретного оборудования, участка, цеха, предприятия в целом. Для достижения результата за исследуемый период определяется количество внедрений аварий по их причинам, ремонтных воздействий на питчах, замен запасных частей по видам или других аналогичных показателей. Влияние категории с наибольшими или наиболее выборочными

внедрениями становится основой для выработки соответствующих рекомендаций.

Пространственный анализ направлен на выявление «слабых звеньев» в оборудовании, технологической линии или в целом на предприятии. Для этого в процессе исследования собирается информация о частоте инцидентов в зависимости от их местоположения, что позволяет оценить проблемные участки в рамках иерархии предприятия (например по цехам, участкам или агрегатам). Объекты, на которых фиксируются наибольшие или наиболее часто возникающие проблемы, подлежат дальнейшему изучению для разработки рекомендаций по устранению этих проблем. Временной анализ направлен на выявление циклических закономерностей в возникновении инцидентов. Для этого в рамках исследования проводится сбор данных о частоте инцидентов в различные временные интервалы (часы, дни недели, месяцы), что позволяет установить закономерности, связанные с циклическостью происшествий. Особое внимание уделяется экстремальным значениям, что позволяет выдвигать гипотезы о возможных причинах циклическости (например сезонные колебания, изменения в квалификации персонала на различных сменах и т. п.). Эти данные могут стать основой для разработки рекомендаций, направленных на минимизацию воздействия негативных факторов.

Мониторинг состояния оборудования представляет собой комплекс мероприятий, включающих в себя сбор и анализ большого объема информации о параметрах функционирования оборудования. Это позволяет оценить надежность энергетического оборудования, которая зависит не только от качества изготовления, но и от научно обоснованной эксплуатации, раннего выявления дефектов, прогнозирования остаточного ресурса, своевременного обслуживания и ремонта. Системный анализ данных о состоянии современного энергетического оборудования показал, что проектная надежность устройств на высоком уровне, однако в процессе эксплуатации оборудование подвержено влиянию различных факторов и режимов работы, что приводит к постепенному ухудшению его состояния и снижению эксплуатационной надежности, увеличивая вероятность отказов. Эксплуатация оборудования основана на последовательных изменениях его срока службы, запасных частей, ремонтных работ и технического обслуживания.

При сравнении систем мониторинга и различных методов анализа данных, применяемых в мировой практике, можно выделить несколько преимуществ мониторинговой системы:

- проведение мониторинга в реальном времени;
- высокая надежность данных;

- возможность хранения выходных данных, что позволяет выявлять зависимости и взаимосвязи между событиями, происходящими в процессе эксплуатации;

- возможность диагностики электрооборудования под напряжением.

Однако при рассмотрении системы мониторинга для оценки состояния электрического оборудования и определения состояния оборудования подстанции можно выделить и некоторые недостатки:

- выходная информация требует наличия математического аппарата с программным обеспечением для дальнейшей обработки и анализа данных;

- система мониторинга в основном не включает в себя полный набор данных по всему оборудованию на объекте, она используется преимущественно для контроля за основными узлами и крайне редко — для вспомогательного оборудования.

Существующие системы сбора и обработки информации позволяют учитывать некоторые недостатки существующих методов ремонта и обслуживания оборудования. Сегодня для оценки состояния оборудования на электростанциях и подстанциях также активно применяются методы технической диагностики и испытаний. Регламентируется периодичность и объем диагностики. Количество, вид, ценность и методы сбора данных различаются в зависимости от способа диагностирования и назначения оборудования. Любой вид и тип оборудования подразумевает наличие метода неразрушающего контроля (тестирования), с помощью которого можно получить данные о состоянии оборудования с периодичностью осмотра не реже одного раза в год. Данный метод позволяет иметь ретроспективную информацию о параметрах состояния оборудования, что позволяет не только отслеживать динамику этих параметров, но и на основе ее анализа прогнозировать возможные отказы и дефекты.

Исследование путей оптимизации с учетом анализа выявленных преимуществ и недостатков, а также их применение на примере автоматизированной системы мониторинга состояния оборудования в распределенных энергетических системах

Процесс разработки и улучшения систем диагностики оборудования включает несколько важных этапов. На первом из них применяются стандартные датчики и устройства для сбора данных. Затем система оснащается дополнительными датчиками и специализированными инструментами, что позволяет расширить ее функциональные возможности. На следующем этапе, с развитием информационных технологий, создается автоматизированная система мониторинга состояния оборудования (АСМСО), основанная на этих устройствах. Со временем эта система трансформируется

в подсистему автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) для всего энергообъекта, а затем расширяется до уровня региональной и отраслевой инфраструктуры [4–6]. Структурная схема данной конфигурации АСМСО представлена на рисунке.

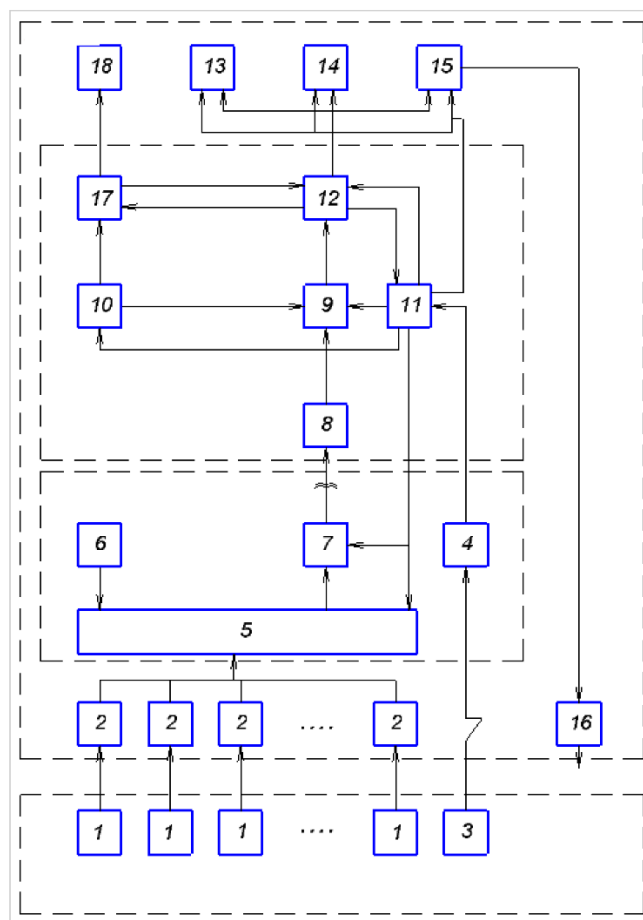


Рис. 1. Функциональная схема системы мониторинга состояния оборудования распределенной энергетической установки: 1–3 – датчики; 2 – контроллеры, 4 – блок обработки информации; 5 – центральный модуль сбора информации; 6 – устройства съема информации; 7 – регистратор; 8–12 компьютеры и блоки связи; 13–18 – дополнительные блоки

Методы в каждом типе могут делиться на подгруппы по дополнительным характеристикам. Так, на диагностическом блоке размещают нужные датчики – их количество и вид выбираются в зависимости от целей системы АСМСО и числа единиц оборудования, которое нужно контролировать.

Чтобы учитывать большой объем разнородных данных в сложной информационной среде, необходимо одновременно рассматривать совокупность различных критериев. Такая структура представляется как взаимодействие отдельных подсистем: получение данных, их сбор, формирование знаний, принятие решений и вывод. База данных содержит и сохраняет практически всю информацию об объекте, включая сведения о ранее проведенных диагностических и мониторинговых мероприятиях.

На основе первичного анализа информации о ремонтной деятельности на основе диагностики и мониторинга в современных условиях развития и цифровизации в качестве оценки эффективности ремонтного производства на первом этапе исследований рассматривался путем обобщенного анализа расчет показателя, который позволит сопоставить рост производительности и затраты на его достижение, в дальнейшем могут быть рассмотрены другие показатели и некоторые методы оптимизации и повышения эффективности. Расчет и системный анализ показателя «удельные затраты»:

$$C_{уд} = \frac{C_{общ} \cdot K_{возр} \cdot K_{загр}}{ЕСР}, \quad (1)$$

где $C_{общ}$ – общие затраты; $K_{возр}$ – коэффициент, учитывающий возраст оборудования (например с увеличением срока службы возрастает износ); $K_{загр}$ – коэффициент загрузки оборудования; ЕСР – условная единица сложности ремонта.

Включение коэффициента восстановления и загрузки позволяет более точно учесть эксплуатационные условия оборудования. Все оборудование, используемое на предприятии, приведено к общему виду (к простейшему виду), а в качестве показателя для достижения реальных условий сравнения рассматривается условная единица трудоемкости ремонта оборудования. Согласно предлагаемой методике для приведения всего оборудования к простейшему виду необходимо использовать коэффициенты, учитывающие различные соотношения затрат на ремонт в зависимости от вида сложности, возраста и загрузки оборудования.

$$\sum UE = \sum K \cdot K1 \cdot K2 \cdot \mu, \quad (2)$$

где $\sum UE$ – совокупное количество условных единиц ремонтной сложности определенного типа оборудования, используемое для нормирования и планирования технического обслуживания и ремонтов в системе планово-предупредительного ремонта; $\sum K$ – общее число единиц ремонтной сложности для данного типа оборудования, определяемое по нормативной документации; $K1$ – корректирующий коэффициент, отражающий различия в материальных и трудовых затратах при обслуживании различных моделей одного типа оборудования в зависимости от сложности их конструкции; $K2$ – коэффициент, учитывающий изменение ремонтной трудоемкости в зависимости от срока эксплуатации оборудования (износа, старения); μ – коэффициент загрузки, характеризующий уровень фактической эксплуатационной нагрузки на оборудование.

Данная формула позволяет привести разнородные параметры технического состояния оборудования к единой условной системе оценки

ремонтной трудоемкости, что способствует более точному планированию ресурсов и оптимизации ремонтных процессов.

Использование данных коэффициентов позволяет рассчитать общее количество условных единиц трудоемкости ремонта всего оборудования на предприятии:

$$UE = \sum_1^n (\sum UE) \cdot K3, \quad (3)$$

где UE – итоговое значение условных единиц ремонтной сложности, скорректированное с учетом типа оборудования; $\sum_1^n (\sum UE)$ – совокупная сумма по всем категориям и подвидам оборудования, предварительно рассчитанная по формуле с учетом индивидуальных коэффициентов ($K1, K2, \mu$); $K3$ – коэффициент, учитывающий различия в уровне материальных затрат в зависимости от конструктивных и функциональных особенностей каждого типа оборудования.

Данная формула позволяет перейти от частных расчетов ремонтной трудоемкости к обобщенному интегральному показателю, характеризующему общее ресурсное обеспечение ремонтных мероприятий. Введение коэффициента $K3$ позволяет адекватно учитывать влияние конструктивной сложности, специфики эксплуатации и стоимости используемых материалов при ремонте оборудования различного назначения. Это, в свою очередь, способствует более точному планированию потребностей в материальных и трудовых ресурсах, а также повышению эффективности планово-предупредительной ремонтной деятельности. Таким образом, выражение (3) служит универсальным инструментом для формирования обоснованных планов ремонтной деятельности на предприятии, позволяя оптимизировать затраты и рационально распределять ресурсы при планово-предупредительном обслуживании.

Заключение. В результате проведенных исследований проведен анализ существующих методов оценки и оптимизации процессов управления ремонтной деятельностью на предприятиях энергетической отрасли. На основе результатов анализа предложена обобщенная модель оценки эффективности ремонтной работы с технико-экономической точки зрения, включающая расчет трудоемкости ремонта. Это позволяет не только осуществлять мониторинг деятельности предприятия, но и учитывать такие параметры, как тип, нагрузка, сложность и возраст оборудования. Также была рассмотрена возможность применения полученных результатов в рамках цифровизации процессов в энергетике [3].

Далее был проанализирован вопрос надежности работы как основного, так и вспомогательного оборудования на электростанциях. Выводы показали, что существующие методы организации технического и ремонтного обслуживания, основанные на техническом состоянии оборудования, не отражают всех аспектов эффективности работы системы.

В дальнейшем планируется установить взаимосвязь между показателями технического состояния электрооборудования и его эксплуатационной надежностью, провести анализ существующих и перспективных методов диагностики, а также оценить действующие нормативные и технологические документы. Эти шаги необходимы для перехода от системы планово-предупредительного ремонта (ППР) к более современным системам обслуживания и ремонта на основе фактического состояния оборудования. Также предполагается исследовать влияние неопределенности информации о техническом состоянии оборудования на точность определения показателей эксплуатационной надежности и периодичности ремонтов.

Список источников

1. Голубев В.А. Оценка эффективности систем технического обслуживания и ремонта в энергетике. М.: Энергетика, 2012.
2. Матвеев В.П. Автоматизация и цифровизация процессов ремонта оборудования. М.: Наука, 2020.
3. Zhang Z., Yang B. A data-driven approach for predictive maintenance in energy systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 139. P. 110635.
4. Chen M., Zhai Y. A review on the application of predictive maintenance in power plants // Journal of Power Sources. 2018. Vol. 378. P. 182–191.
5. Lee J., Kang J. Application of artificial intelligence in predictive maintenance of power equipment // IEEE Transactions on Power Systems. 2020. Vol. 35(6). P. 4737–4745.
6. Уменьшение затраты при оптимизации надежности электрических аппаратов с помощью решения математической моделью / Д.Ш. Мардонов [и др.] // Современные инновации. 2018. № 2 (30). С. 31–33.

References

1. Golubev V.A. Ocenka effektivnosti sistem tekhnicheskogo obsluzhi-vaniya i remonta v energetike. M.: Energetika, 2012.
2. Matveev V.P. Avtomatizaciya i cifrovizaciya processov remonta oborudovaniya. M.: Nauka, 2020.
3. Zhang Z., Yang B. A data-driven approach for predictive maintenance in energy systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 139. P. 110635.
4. Chen M., Zhai Y. A review on the application of predictive maintenance in power plants // Journal of Power Sources. 2018. Vol. 378. P. 182–191.

5. Lee J., Kang J. Application of artificial intelligence in predictive maintenance of power equipment // IEEE Transactions on Power Systems. 2020. Vol. 35(6). P. 4737–4745.
6. Umen'shenie zatraty pri optimizacii nadezhnosti elektricheskikh apparatov s pomoshch'yu resheniya matematicheskoy model'yu / D.Sh. Mardonov [i dr.] // Sovremennye innovacii. 2018. № 2 (30). S. 31–33.

Сведения об авторах:

Жонибек Ашурович Мавлонов¹ – заведующий кафедрой, доцент кафедры энергетики, доктор философии, доцент

Музаффар Каримтошевич Сайидов² – старший преподаватель кафедры энергетики

Information about the authors:

Jonibek Ashurovich Mavlonov¹ – Head of Department, Associate Professor of the Department of Energy, Doctor of Philosophy, Associate Professor

Muzaffar Karimtoshevich Sayidov² – Senior Lecturer, Department of Energy