

АННОТАЦИЯ

В статье приводится описание структуры и функциональных возможностей экспертно-диагностической и информационной системы управления техническим обслуживанием высоковольтного электрооборудования «Альбатрос», внедрённой в РУП «Минскэнерго». Рассмотрены влияние системы на политику эксплуатации трансформаторного оборудования, а также условия быстрого внедрения и эффективного использования подобных систем в энергетике.

ANNOTATION

The article is described the structure and functional capabilities of the expert-diagnostic and information management system for maintenance of high-voltage electrical equipment "Albatross", implemented in RUE "Minskenergo". The influence of the system on the policy of operation of transformer equipment, as well as the conditions for the rapid introduction and efficient use of such systems in the power industry are considered.

Менеджмент эксплуатации парка электрооборудования РУП «Минскэнерго» с помощью ЭДИС «Альбатрос»

И. В. Давиденко, д. т. н., Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия,

Н. А. Чуюнова, Г. М. Григоренко, ведущие инженеры ЛАКТМ СЭО РУП «Минскэнерго»

Введение

Экспертно-диагностическую и информационную систему управления техническим обслуживанием высоковольтного электрооборудования (ЭДИС) «Альбатрос» хорошо знают в России специалисты отраслей энергетики и металлургии — она внедрена на 113 предприятиях РФ, а также в Латвии, Молдове и Украине (всего 420 рабочих мест). Во время внедрения и сопровождения системы на предприятиях МРСК, ФСК, генерации, металлургических заводах РФ происходила настройка системы на специфику оборудования разных классов напряжения и характера нагрузок. Внедрение в странах бывшего СССР позволило накопить и обобщить в базе знаний их опыт.

Структура и назначение ЭДИС

Система состоит из следующих частей: базы данных (БД); базы знаний (БЗ); подсистем подготовки и верификации информации; планирования и мониторинга выполнения операций технического обслуживания и ремонта (ТОиР); анализа технико-экономических показателей парка оборудования; ранжирования оборудования по техническому со-

стоянию и риску отказа; анализа повреждаемости оборудования; получения критериев диагностирования (рис. 1).

Каждая подсистема, в свою очередь, состоит из ряда функциональных модулей, выполняющих различные задачи.

База данных. Одной из основных задач ЭДИС является автоматизация процесса сбора, обработки и анализа информации о техническом состоянии оборудования, проводимых эксплуатационных мероприятиях и ремонтах. Система может работать в режиме распределённой базы данных с делением на 3 уровня: предприятие, его филиалы и производственные отделения филиалов. Каждый уровень обладает своими функциональными и информационными особенностями, своими степенями обобщения, анализа и защищённости информации в соответствии с естественной иерархией организации эксплуатации электрооборудования. Потoki информации в системе организуются с учётом сложившихся структурных и иерархических связей предприятия и порядка его работы. С ЭДИС работают специалисты разных профессий (химики, хромотографисты, инженеры-электрики, ремонтники, специалисты служб изоляции и защиты от перенапряжений) и должностей. Благодаря модульно-иерархической организации структуры ЭДИС и применению ролей (набору прав доступа к информации) система настраивается на конкретного пользователя

в зависимости от его уровня компетентности и круга решаемых производственных задач.

Сверху названия блоков: «База данных», «Подсистемы» и «Базы знаний» вставил я. Надо «облагородить» (выровнять и т.п.).

Подсистема подготовки и верификации информации:

- ♦ проводит подготовку оперативных данных к анализу (приведение к температуре, расчёт трендов и соотношений параметров и т. п.);
- ♦ выявляет ошибки в поступающих в систему данных, возникающие из-за несовершенства методов и аппаратуры измерений, несоблюдения технологии их (измерений) проведения, невнимательности персонала;
- ♦ проверяет информацию на полноту, актуальность и противоречивость.

Подсистема планирования и мониторинга выполнения операций ТОиР автоматически составляет планы эксплуатационных мероприятий на основе справочника, содержащего условия и периодичность проведения измерений и других мероприятий ТОиР. Подсистема может оптимизировать план, рассчитывать стоимость и трудоёмкость его реализации, а также контролировать его выполнение.

Подсистема анализа повреждаемости оборудования содержит:

- ♦ формализованное описание (акт) повреждения с помощью классификационных справочников;
- ♦ сценарии анализа повреждаемости на основе актов повреждений и рассчитанных показателей надёжности;
- ♦ алгоритм поиска аналогов технического состояния по БД дефектов трансформаторов.

Подсистема получения критериев диагностирования определяет критерии оценки контролируемых параметров по авторской методике с использованием дисперсионного анализа и медианного распределения. Расчёт ведётся по данным эксплуатации своего парка оборудования, накопленным в БД системы. Таким образом, можно увеличить точность оценки системой технического состояния оборудования, получив критерии оценки, учитывающие специфику режимов работы, конструктивные особенности и срок эксплуатации конкретного парка оборудования.

Подсистема анализа технико-экономических показателей парка оборудования позволяет:

- ♦ получать статистические выборки с задаваемыми условиями отбора как по паспортным

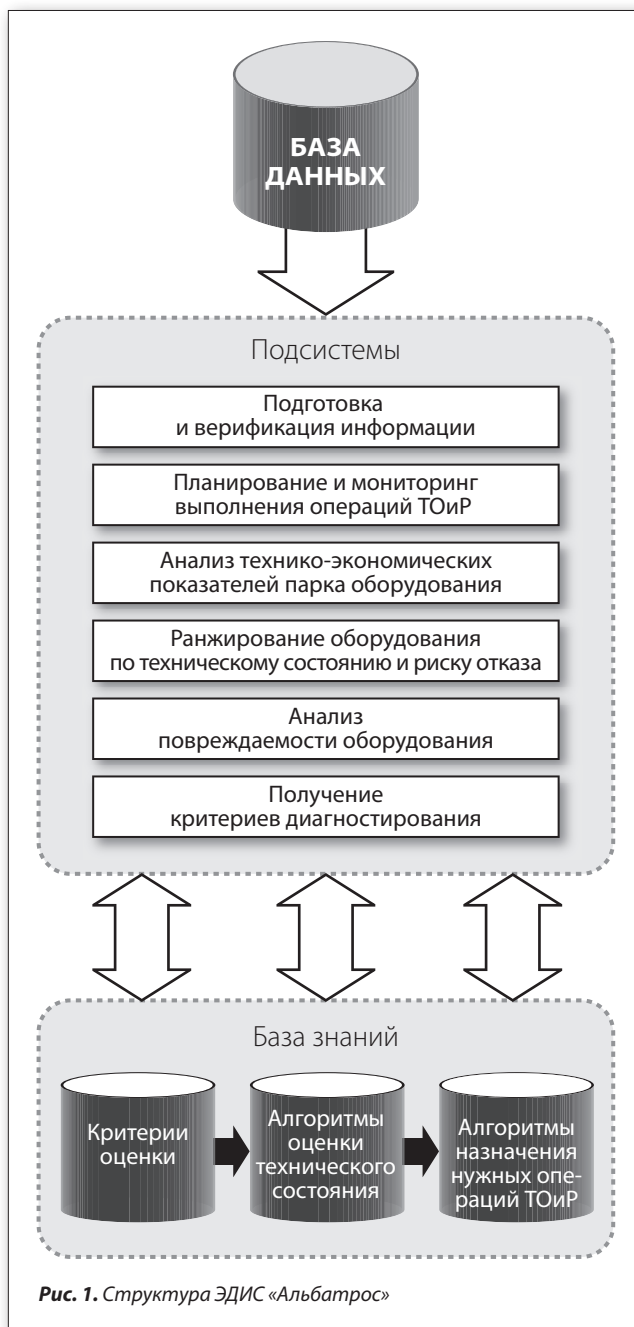


Рис. 1. Структура ЭДИС «Альбатрос»

характеристикам оборудования, так и по оперативной информации (результатам измерений и операций ТОиР, внешним воздействиям);

- ♦ рассчитывать удельные затраты и трудоёмкость по группам оборудования;
- ♦ проводить анализ структуры затрат на эксплуатационные мероприятия.

Подсистема ранжирования оборудования по техническому состоянию и риску отказа позволяет определить очерёдность проведения операций ТОиР по индексу технического состояния и оценке риска [4]. Индекс технического состояния рассчитывается на основании идентифицированного системой

вида дефекта, степени и скорости его развития, проведённых ранее эксплуатационных мероприятий. Интегральный индекс технического состояния по каждому трансформатору рассчитывается по индексам состояния традиционных и специальных видов контроля. При оценке риска отказа рассматриваются последствия отказа как для поставщика, так и для потребителя электроэнергии. Кроме того, учитываются конструктивные особенности оборудования, срок его эксплуатации и вероятность отказа предполагаемого места (узла, системы) повреждения трансформатора.

База знаний ЭДИС «Альбатрос»

Критерии оценки, заложенные в базу знаний системы, основаны на многолетнем опыте диагностирования, накопленном в энергосистемах, российских и зарубежных нормативных документах и публикациях, на опыте экспертов Санкт-Петербурга, Казани, Благовещенска, Тюмени, на научном потенциале авторов ЭДИС (их методиках, патентах, НИР), а также богатом статистическом материале, собранном при обследовании вскрытого оборудования.

Сейчас ЭДИС даёт оценку технического состояния силовых трансформаторов 6–750 кВ, шунтирующих реакторов, трансформаторов тока и напряжения, высоковольтных вводов, вентильных разрядников и ограничителей перенапряжений, токопроводов, конденсаторов, силовых кабельных линий, воздушных, вакуумных и элегазовых выключателей. Для диагностирования каждого из перечисленных видов оборудования используется свой набор контролируемых параметров и алгоритм их анализа, учитывающий особенности конструкции конкретного вида и условия его эксплуатации. В основном используемый в системе набор параметров шире перечня, приведённого в руководящих документах [1, 2]. Например, оценка состояния силового трансформатора проводится на основании результатов:

- ♦ анализа растворённых в масле газов (АРГ);
- ♦ расширенного физико-химического анализа (ФХА) масла (33 параметра, включая относительное влагосодержание, поверхностное натяжение и температурную зависимость удельного объёмного сопротивления масла, а также показатели его структурно-группового состава и коэффициент Вермана);
- ♦ измерения изоляционных характеристик;
- ♦ измерения омического сопротивления обмоток;

- ♦ измерения сопротивления короткого замыкания;
- ♦ опыта холостого хода.

Как известно, состояние жидкой изоляции маслонаполненного оборудования во многом является определяющим фактором как при оценке его технического состояния, так и для продления сроков его эксплуатации. Более 90 % дефектов силовых трансформаторов обнаруживаются контролем параметров масла. Именно в области оценки технического состояния маслонаполненного оборудования как на этапе обнаружения, так и на этапе идентификации дефекта проявляются преимущества ЭДИС по сравнению с аналогичными системами.

Во-первых, это полученная в ходе НИР, библиотека критериев оценки результатов АРГ и ФХА масла, которая учитывает индивидуально структурно-групповой состав масла, а также деструктивные изменения, происходящие с ним в процессе эксплуатации под влиянием особенностей конструкции и режима работы оборудования. Критерии библиотеки специфичны для оборудования различного вида (силовые трансформаторы, трансформаторы тока и напряжения, высоковольтные вводы, масляные выключатели), класса напряжения (35; 110; 220; 500 кВ), типа защиты масла (азотная, плёночная, свободное дыхание), а также его марки и срока эксплуатации. Марки масла разделены на 3 группы в соответствии с содержанием в них ароматических углеводородов Са, так как этот показатель влияет на характер процесса старения и газопоглощения масла: ниже 3 % (ГК, ВГ, Nytro); 9–15 % (ТСП, Т-1500 и т. п.); выше 18 % (ТКп).

Во-вторых, эта библиотека включает ряд критериев, отсутствующих в руководящих документах России и Беларуси, в частности, таких как оценка результатов АРГ для:

- ♦ трансформаторов 35 и 110 кВ с плёночной защитой;
- ♦ трансформаторов тока и напряжения;
- ♦ негерметичных и герметичных высоковольтных вводов масляных выключателей и силовых трансформаторов.

В-третьих, ЭДИС использует авторские методы и алгоритмы (ноу-хау системы) идентификации вида дефекта на основании АРГ и ФХА масла. Для различных видов оборудования разработаны отдельные алгоритмы, так как они имеют особенности в причинах возникновения дефектов, режимах эксплуатации, конструкции, в том числе разные соотношения объёмов бумаги и масла.

По авторским методикам и результату АРГ система идентифицирует:

- ♦ 14 видов дефектов силовых трансформаторов;
- ♦ 9 видов дефектов трансформаторов тока;
- ♦ 3 вида дефекта трансформаторов напряжения;
- ♦ 10 видов дефектов высоковольтных вводов.

В-четвёртых, на основании результата оценки технического состояния оборудования и с учётом истории развития повреждения система выдаёт достаточно подробные рекомендации персоналу по дальнейшей эксплуатации с перечнем необходимых операций ТОиР.

В-пятых, для определения очередности проведения операций ТОиР система использует авторскую методику ранжирования силовых трансформаторов по индексу технического состояния и оценке риска. Ранжирование проходит в автоматическом режиме без участия экспертов. Полученный результат имеет точность совпадения с планами ремонтов, составленных специалистами, в несколько раз выше, чем по методике Холдинга МРСК (ПАО «Россети») по управлению активами.

В-шестых, ЭДИС обеспечивает поиск аналогов технического состояния по БД дефектов трансформаторов. Она содержит более 350 историй развития повреждений, которые были выявлены с помощью ЭДИС за более чем 20 лет её эксплуатации, с подробным описанием результатов ремонтов и (или) вскрытия.

Внедрение системы в эксплуатацию

Очевидно, что чем быстрее работа с системой вольётся в привычный ритм служб эксплуатации электрооборудования, тем быстрее предприятие получит эффект от её использования. Чем больше аспектов (сфер) эксплуатации она коснётся и глубже в них проникнет, тем большим будет эффект от её внедрения.

На этапе внедрения происходит установка системы на технические средства, привязка к реальной рабочей среде и её настройка, обучение персонала, загрузка БД исходными данными.

ЭДИС поставляется с заполненными справочниками типов оборудования и его узлов, заводов изготовителей, периодичности контроля оборудования, критериев оценки контролируемых параметров и пр., что позволяет начать работу с системой немедленно после её установки. Для быстрого внедрения системы до момента её установки специалистами заказчика должна быть проделана конкретная проектная работа:

- ♦ определено количество рабочих мест и необходимый функционал каждого места (для создания инсталляционных пакетов, общих настроек системы, в том числе фильтров ограничивающих видимость данных);
- ♦ определён поимённо круг пользователей на каждом предприятии (для создания набора первичных индивидуальных настроек пользователей системы и закрепление за ними ролей).

В РУП «Минскэнерго» эта работа была проделана специалистами лаборатории по анализу и контролю трансформаторных масел службы эксплуатации и ремонтов электротехнического оборудования (ЛАКТМ СЭО). Ими же было организовано обучение специалистов работе с системой. Обучение происходило через 3 месяца после установки системы на местах, чтобы персонал успел познакомиться с внешним видом системы и функциями занесения данных. Это позволило во время обучения больше внимания уделить методикам диагностирования оборудования и приёмам статистического анализа технико-экономических показателей парка оборудования, используемых в ЭДИС, а также приобретению навыков получения оперативных отчётов и протоколов оценки технического состояния оборудования, изменения индивидуальных настроек пользователя.

Необходимо отметить, что одним из важных условий быстрого освоения ЭДИС и эффективного её использования является выделение специалиста, координирующего работу с системой как по занесению и циркуляции информации, так и по обработке и анализу данных. По опыту внедрения, можно сказать, что это должен быть специалист службы эксплуатации, обладающий хорошими профессиональными знаниями и опытом.

К достоинствам ЭДИС можно отнести и то, что её внедрение не требует дополнительного штата. На специалистов информационных технологий ложатся функции первичной инсталляции системы и её релизов, что занимает 30–40 минут.

В первый год внедрения системы возрастает нагрузка на персонал электротехнических служб, так как нужно занести паспортные характеристики и данные приёмо-сдаточных испытаний оборудования. Обучение помогает пробудить у персонала интерес к системе, наглядно продемонстрировать, что в результате он сможет экономить рабочее время на составление отчётов, справок, протоколов измерений, а также освоить новые приёмы анализа эксплуатационных данных.

На этапе внедрения происходит и формирование требований предприятия к адаптации системы к белорусским стандартам по техническому диагностированию электрооборудования; к изменениям формы выдаваемых отчётов, например протоколов оценки технического состояния оборудования.

Это серьёзная аналитическая работа, которую могут проделать только опытные специалисты-эксперты, отвечающие за эксплуатацию оборудования. Для предприятия важно найти таких экспертов и мотивировать их работу.

Кроме того, через сайт разработчика ЭДИС осуществляется сбор заявок и замечаний от всех её пользователей. Разработчики проводят анализ заявок и совместно с экспертами заказчика вырабатывают план реализации улучшений ЭДИС.

При внедрении новой системы встаёт вопрос интеграции её базы данных с базами данных, используемых на предприятии систем. Если удаётся найти решение трансляции уже накопленных данных в БД ЭДИС, то это экономит рабочее время персонала по занесению первичных данных, снижает количество ошибок, ускоряет процесс внедрения системы. Процессом интеграции БД различных систем занимаются специалисты информационных технологий заказчика и разработчики ЭДИС.

Этап внедрения можно считать законченным, когда персонал будет воспринимать ЭДИС как необходимый повседневно инструмент; использовать её охотно, без административного ресурса, потому что убедится, что система экономит его рабочее время и проводит точную и достоверную оценку эксплуатационных данных.

Стадию внедрения сменяет стадия эксплуатации ЭДИС. Этот период продолжается до тех пор, пока система функционально устраивает заказчика. Сопровождение экспертных систем имеет особое значение, так как база знаний — наиболее динамичный компонент, требующий постоянной актуализации содержания. Тогда база знаний становится квинтэссенцией опыта специалистов многих энергосистем, научно-исследовательских организаций, производителей оборудования. Имея 20-летний опыт внедрения ЭДИС, её разработчики убедились, насколько эффективность использования системы зависит от человеческого фактора. Поэтому желательно в процессе эксплуатации ЭДИС проводить регулярное (1 раз в несколько лет) обучение персонала в форме курсов повышения квалификации. Пользователю системы надо привить навыки эффективной

работы с ЭДИС, отличающейся от привычного шаблона действий. Как показывает практика, разового обучения недостаточно для вхождения новых методов анализа данных в повседневную практику, особенно консервативно настроенным специалистам с большим стажем. Кроме того, возникают новые методы анализа контролируемых параметров оборудования и диагностирования, требующие освоения.

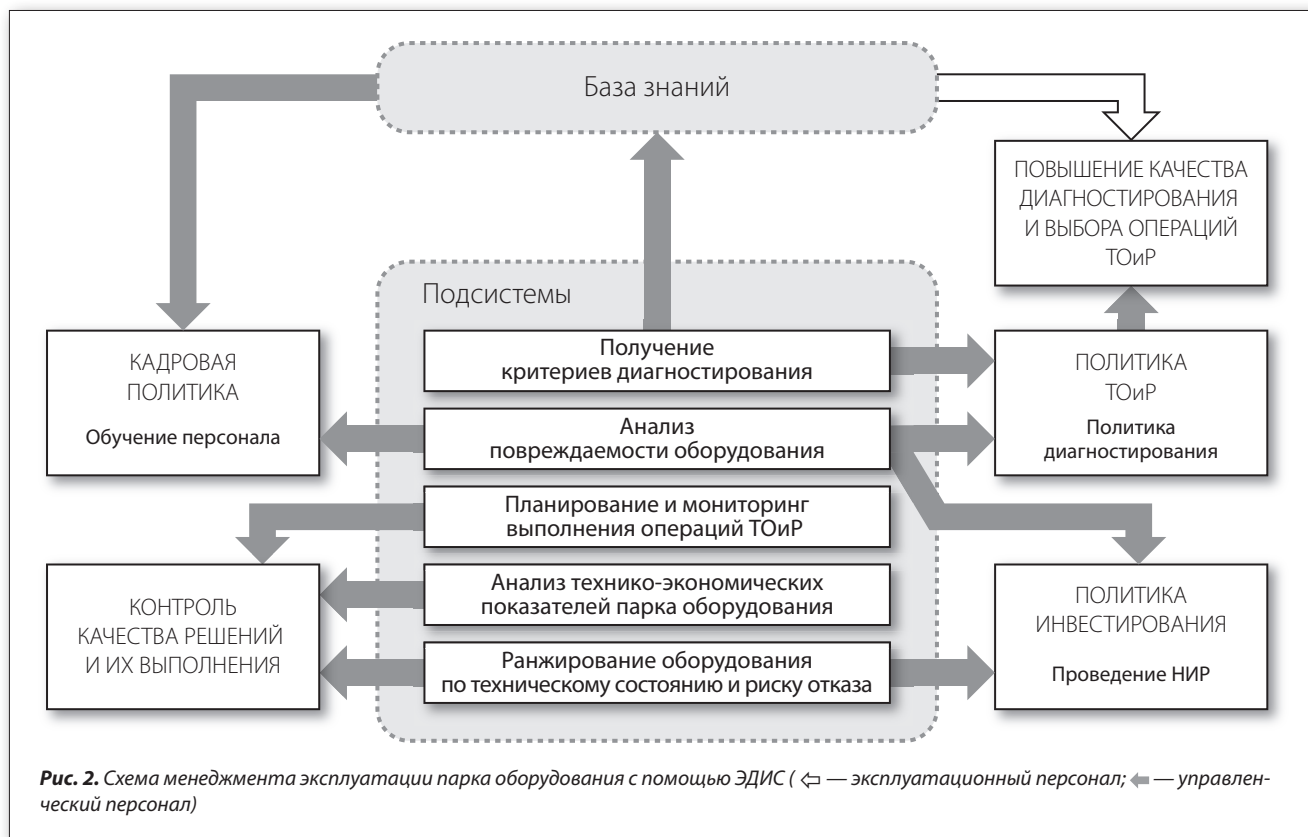
Организация эксплуатации электрооборудования с помощью экспертной системы

Организация эксплуатации электрооборудования состоит из кадровой политики, политики диагностирования и обслуживания оборудования, включая ремонты, а также политики инвестиций. В настоящее время в силу ряда причин менеджерами энергокомпаний утрачены навыки глубокого анализа эксплуатационной информации. Кроме того, из-за роста бюрократических процедур специалисты исполнительного аппарата предприятий уже не успевают (не могут, не умеют) проводить качественный анализ оперативных и статистических данных. Количество же данных, которые необходимо анализировать, растёт с каждым годом, но, чтобы накопленные данные стали информацией, их надо осознать, проанализировать, обработать.

Мы предлагаем использовать для организации эксплуатации электрооборудования систему искусственного интеллекта — ЭДИС. На рис. 2 представлена схема взаимодействия персонала и ЭДИС по менеджменту эксплуатации электрооборудования. Генерация управленческих решений возложена на персонал исполнительного аппарата. Управленческие решения касаются: политики инвестирования, в том числе политики проведения НИР; политики проведения операций ТОиР, в том числе политики диагностирования оборудования; кадровой политики, в том числе политики обучения персонала.

В контексте обсуждаемой темы термин «политика» — это определение тактических и стратегических целей управленческой деятельности, которые достигаются путем решения конкретных задач. Генерация управленческих решений происходит на основе анализа данных об оборудовании, накопленных в БД системы. Различные аспекты анализа этих данных заложены в базе знаний и подсистемах ЭДИС.

Коррекция в кадровую политику вносится на основании анализа ошибок персонала подсистемой анализа повреждаемости оборудования. Кроме того, система имеет функционал, объясняющий, на основе каких фактов был сделан её логический вывод,



а также предоставляющий большой спектр методов анализа информации. Таким образом, изучая логику вывода системы и пользуясь новыми приёмами анализа информации, персонал имеет возможность повышать свою квалификацию.

Подсистема получения критериев диагностирования позволяет автоматизировать этапы НИР по расчёту предельно-допустимых и допустимых значений контролируемых параметров и их трендов, дифференцированных по конструктивным особенностям и сроку эксплуатации оборудования. Рассчитанные критерии диагностики могут быть занесены специалистами исполнительного аппарата в базу знаний системы. Это один из аспектов коррекции политики диагностики предприятия.

Подсистема анализа повреждаемости оборудования позволяет выявить виды измерений, эффективные для обнаружения различных повреждений, а также обосновать необходимую периодичность измерений и условия их проведения. На основании анализа причин и характера повреждений можно корректировать политику ТОиР, в том числе устранить недостатки инструкций, усовершенствовать технологию проведения ТОиР.

Подсистема анализа состава и технико-экономического состояния парка оборудования позволяет

выявить производителей оборудования с минимальными эксплуатационными затратами. Подсистема анализа повреждаемости выявляет поставщиков более надёжного оборудования. Это знание можно использовать в политике инвестирования при закупке оборудования. Подсистема ранжирования оборудования определяет приоритет выполнения операций ТОиР, инвестирования в программы ремонта и технического обслуживания.

Определить наиболее эффективные направления НИР помогут подсистема анализа состава и технико-экономических показателей парка оборудования (по динамике числа оборудования, поставленного на учащённый контроль по видам измерения и контролируемым параметрам) и подсистема анализа повреждаемости оборудования (по доле повреждений, на выявление и устранение которых направлена НИР).

При принятии управленческих решений важно помнить о целях оптимизации процесса эксплуатации оборудования. В угоду тактическим целям сокращения расходов на эксплуатацию можно в дальнейшем потерять надёжность работы электрооборудования и сократить срок его эксплуатации. Поэтому очень важно, чтобы исполнительный аппарат владел не только экономическими знаниями, но и знаниями в области эксплуатации,

диагностирования и ремонта электрооборудования, понимал физику процессов, происходящих в стареющем оборудовании.

Выводы

Основной ожидаемый эффект от использования ЭДИС — это повышение надёжности эксплуатации оборудования и минимизация риска его отказа за счёт повышения достоверности и точности оценки технического состояния и проведения своевременных, адекватных ситуации операций технического обслуживания, что увеличивает срок эксплуатации оборудования и снижает издержки на его обслуживание и ремонты.

При использовании ЭДИС эксплуатационным персоналом в повседневной работе происходит качественное изменение характера труда, распределения рабочего времени (оно экономится на подготовке и анализе данных за счёт автоматизации), снижается количество ошибок персонала; повышаются оперативность, надёжность и качество принимаемых решений.

Ещё больше повысит результативность ЭДИС её использование управленческим персоналом для контроля качества и своевременности проведения диагностирования и ТОиР в подразделениях предприятия; для нахождения и устранения слабых мест в кадровой политике; для определения направлений предпочтительного инвестирования как в оборудование, так и в организацию ТОиР и кадровую политику.

У управленческого персонала необходимо формировать навык анализа оперативной информации, технико-экономического состояния парка оборудования, его повреждений и пр. Естественно, что в современном мире эти задачи должны решаться с помощью систем искусственного интеллекта.

При внедрении и эксплуатации системы искусственного интеллекта человеческий фактор играет решающую роль, так как система приносит пользу только при взаимодействии с ней персонала. Чем интеллектуальнее система, тем интеллектуальнее должен быть и персонал, чтобы эффективно использовать весь функционал системы. EIMM