

О. В. ШУТЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Д. В. БАКЛАЙ, ассистент, НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрены принципы построения и функциональные возможности экспертных систем для диагностики состояния высоковольтного электроэнергетического оборудования. Проанализированы достоинства и недостатки действующих экспертных систем. Предложены критерии для оценки эффективности разных экспертных систем.

У статті розглянуті принципи побудови та функціональні можливості експертних систем для діагностики стану високовольтного електроенергетичного обладнання. Проаналізовано достоїнства та недоліки діючих експертних систем. Запропоновані критерії для оцінки ефективності різних експертних систем.

In article principles of construction and functionalities of the expert systems used for diagnostics of a condition of the high-voltage electropower equipment are considered. Merits and demerits of working expert systems are analysed. Criteria for an estimation of efficiency of various expert systems are offered.

Введение. Проблема старения высоковольтного электроэнергетического оборудования является крайне актуальной, как для Украины, так и для других стран. Например, в США по состоянию на 1997 г. около 65% силовых трансформаторов отработали более 25 лет, в Японии более 30 % парка трансформаторов старше 30 лет, в России около 50%. основных фондов электроэнергетики имеют наработку более 25 лет. По состоянию на конец 2005 г. средний срок эксплуатации электрооборудования Украины уже превышает половину проектного, что приводит к снижению надежности его функционирования, возрастанию аварийности [1, 2]. Обеспечение эксплуатационной надежности трансформаторов, в условиях, когда темпы старения значительно опережают темпы их замены, возможно за счет разработки новых технологий и практических методов оценки их технического состояния. Наиболее квалифицированное решение по повышению надежности трансформатора может быть получено с применением методов экспертных систем, разработки которых успешно ведутся как в Украине, так за рубежом. Экспертные системы (ЭС) - особые компьютерные программы, моделирующие действия эксперта-человека при решении задач на основе накопленных знаний, составляющих базу знаний (БЗ). Экспертная система оценки технического состояния электрооборудования определяет следующее: находится ли оборудование в нор-

мальном состоянии, не требующем какого-либо вмешательства; требуется ли дополнительное внимание со стороны персонала или учащенный контроль параметров оборудования; необходимо ли выполнение дополнительных измерений, испытаний и других профилактических мероприятий с отключением и без отключения; требуется ли проведение ремонтов, модернизации, облегчение режимов работы или вывод электрооборудования из работы.

В настоящее время разработаны и внедрены, как в Украине, так и за рубежом несколько экспертных систем, которые отличаются принципами построения, методами обработки данных и различными функциональными возможностями. Создание единой национальной ЭС возможно на основе учета имеющегося опыта разработки и эксплуатации таких систем. В связи с этим целесообразно выполнить сравнительный анализ возможностей различных ЭС, которые в настоящее время используются для диагностики состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования.

Цель статьи – В статье приведены результаты анализа принципов построения и функциональных возможностей экспертных систем, используемых для диагностики состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования.

Рассмотрим принципы построения и функциональные возможности экспертных систем для диагностики состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования на примере наиболее распространенных ЭС.

Экспертная система «Диагностика +» («Д+»), Россия. Изначально была предназначена для автоматизированного ведения паспортных данных и данных испытаний электрооборудования, а также проведения диагностических экспертиз по результатам испытаний с выдачей оценки состояния этого оборудования и рекомендаций по его дальнейшей эксплуатации [3, 4]. Система, как правило, работает с базой данных (БД) в локальной сети предприятия в режиме клиент-сервер.

Подсистема мониторинга функционирует как единая иерархическая (состоящая из верхнего, среднего и нижнего уровней), распределенная система, работающая в темпе протекания технологического процесса, оснащенная средствами сбора, обработки, отображения, регистрации, анализа, хранения и передачи информации. Информационный обмен в системе построен на технологии OPC (OLE for Process Control) предназначенной для обеспечения универсального механизма обмена данными между датчиками, исполнительными механизмами, контроллерами и системами представления технологической информации, оперативного диспетчерского управления, а также системами управления базами данных. Система состоит из трех звеньев: сервер БД - сервер приложений - клиенты. Такая схема позволяет выполнять всю прикладную логику на сервере и значительно разгрузить сеть.

В качестве сервера БД обе системы используют СУБД FireBird (клон известной СУБД Interbase). Это позволяет системам беспрепятственно исполь-

зывать данные друг друга. На рис. 1 показаны основные компоненты программного и информационного обеспечения и потоки данных интегрированной системы «Д+». OPC Сервер - коммуникационное программное обеспечение, предназначенное для сбора аналоговых и дискретных данных и управления оборудованием, подключенным к последовательным асинхронным портам ввода/вывода (СОМ портам) через преобразователи полевой шины и взаимодействия с OPC клиентами. Сервер обеспечивает опрос контроллеров, и передачу пакетов данных серверу мониторинга, по отношению к которому она является клиентом. Клиент обрабатывает полученные данные из OPC сервера, сохраняет их в БД в архиве значений и посылает их всем подключенным АРМам.

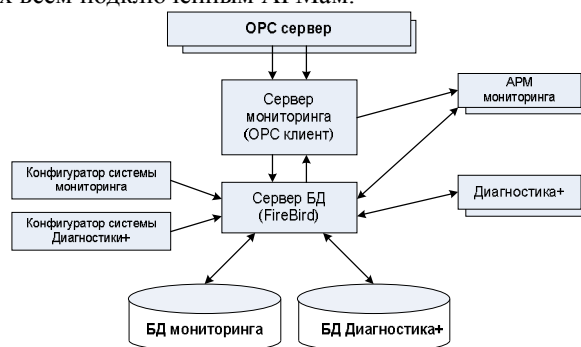


Рис. 1 – Основные компоненты программного и информационного обеспечения и потоки данных системы «Д+»

Кроме того, для каждого параметра имеется специальная процедура, которая анализирует его значение, устанавливает статус значения и генерирует события. Статус значения: нет сигнала – устанавливается, если не было получено очередное значение; норма – не выходит за предельные значения; предупреждение – выходит за граничные значения; тревога – выходит за предельные значения. События также могут быть: простыми; предупредительными; аварийными.

Если значение параметра получает статус предупреждение или тревога, то генерируется соответственно предупредительное или аварийное событие. События сохраняются в БД в журнале событий и посылаются всем подключенным к серверу клиентам. При использовании спецификации OPC появляется возможность доступа к данным и передачи этих данных приложениям-клиентам различного назначения.

На рис. 2 приведена модель информационного взаимодействия компонентов подсистемы. Программа АРМ мониторинга на компьютере диспетчера запускается автоматически при включении компьютера и большей частью находится в режиме ожидания. Если главное окно АРМ открыто, то по мере поступления пакетов, значения параметров для текущего

объекта выводятся в окне. Статус значения определяет цвет фона. Изменяются параметры и на мнемосхеме. Получение нового сообщения выводит окно журнала событий, также возможен поиск по событию и заданному времени. Время квитирования фиксируется только от одного АРМ мониторинга (установленного на компьютере диспетчера). Окно с сообщением закрывается. Если главное окно программы свернуто, то оно распахивается, и автоматически выбирается объект, для которого пришло сообщение. Внизу главного окна АРМ мониторинга имеется окно журнала событий. В ЭС «Д+» предусмотрен просмотр трендов параметров, сохраняемых в архиве, причем в одном наборе могут присутствовать графики параметров одного или разных объектов.

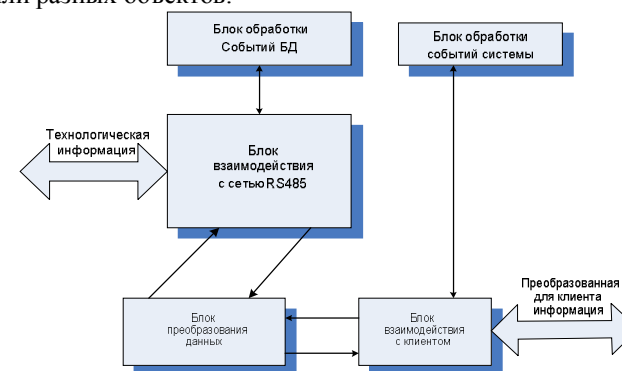


Рис. 2 – Модель информационного взаимодействия компонентов подсистемы

Конфигураторы подсистемы мониторинга и системы «Д+» являются программами настройки режимов работы систем и используются только администратором. Они позволяют изменять значения параметров работы системы, которые хранятся в БД. При перезагрузке сервера происходит автоматическая инициализация процесса, а все его параметры берутся из базы данных.

Основой подсистемы мониторинга является библиотека моделей. Обе системы («Д+» и мониторинга) могут работать автономно, но в комплексе они дополняют друг друга и переходят на более высокий уровень.

Подсистема мониторинга оперативно реагирует на недопустимые изменения значений контролируемых параметров, но получая дополнительные сведения от системы «Диагностика+» сервер мониторинга может более точно вычислять граничные и предельно-допустимые значения, а также, при необходимости, оперативно проводить углубленный анализ состояния объекта и квалифицированно выдавать рекомендации по действиям оперативного персонала.

В настоящее время «Диагностика+» обеспечивает проведение диагностики технического состояния следующего оборудования: силовых

масляных трансформаторов, автотрансформаторов и масляных шунтирующих реакторов, масляных, вакуумных, воздушных и элегазовых выключателей, высоковольтных вводов, трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, вентильных разрядников и ограничителей перенапряжения, асинхронных двигателей.

«Диагностика+» обеспечивает:

1. ведение паспортных данных и данных испытаний;
2. ведение данных о ремонтах;
3. фиксацию в БД внешних воздействий на оборудование;
4. проведение диагностических экспертиз с выдачей по их результатам протоколов;
5. планирование и контроль за проведением регламентных работ.

В протоколах в заключении о состоянии электротехнического оборудования указывается: «Пригодно», «Пригодно с учащенным контролем отдельных параметров», «Планировать вывод в ремонт», «Непригодно». При отступлении значений измеренных параметров от норм выдаются рекомендации по доведению оборудования до норм или о необходимости его замены.

Все диагностические правила соответствуют стандартам и нормативам, принятым в отрасли. Данные замеров и испытаний заносятся пользователем в компьютерные таблицы или в специальные компьютерные формы. По этим данным испытаний проводятся экспертизы, а по их результатам генерируются протоколы испытаний.

Каждому виду испытаний соответствует своя экспертиза и еще по одной для каждого вида комплексных испытаний. Комплексное испытание охватывает ряд отдельных испытаний, и поэтому во время оценки состояния оборудования учитываются результаты всех проведенных измерений.

Экспертная система диагностики маслонаполненного оборудования «ЭДИС Альбатрос», Россия. Разработана Уральским техническим университетом [5, 6]. Система поддерживает принятие решений и обеспечивает выполнение задач различных категорий пользователей, работающих с информацией о состоянии оборудования на всех уровнях. Система может работать как на одном рабочем месте, так и в варианте распределенной базы данных. Блоки экспертно-диагностической системы установлены в районах энергосетей (РЭС), на сетевых предприятиях (ПЭС), в химлаборатории (ХЛ) и в управлении энергосистемы (ЭТС). Потоки движения информации и ее обработку можно представить в виде трехуровневой схемы (рис. 3). На нижнем, I уровне персонал, проводящий испытания и измерения оборудования, заносит полученные результаты в базу данных (БД), в которой также отражается информация о внешних воздействиях на оборудование (перенапряжениях, перегрузках и т.д.) и эксплуатационных мероприятиях (доливки масла, замена узлов оборудования и т.д.). Задача системы – проверить входную информацию

на достоверность, сделать необходимые расчеты (например, по температуре), выдать по требованию паспорт оборудования, карточки его испытаний и измерений ("историю болезни"), списки установленного оборудования.

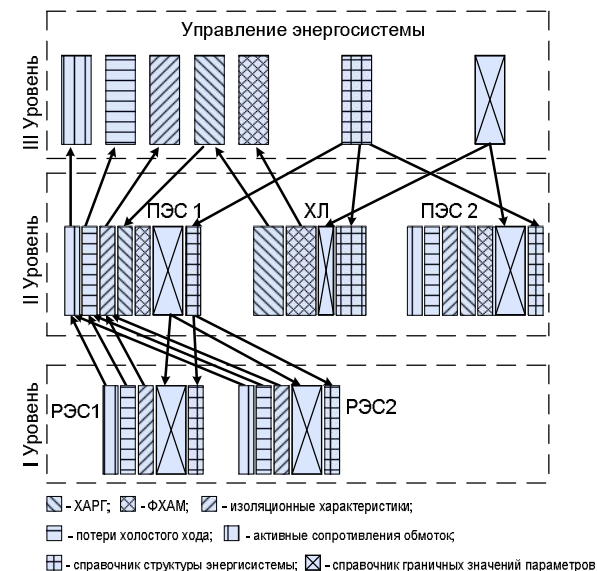


Рис. 3 – Схема движения потоков информации в экспертной системе диагностики маслонаполненного оборудования "Альбатрос"

В химической лаборатории проводятся хроматографический анализ, растворенных в масле газов (ХАРГ) и полный физико-химический анализ масла (ФХАМ). Результаты этих измерений инженер-химик заносит в БД диагностической системы. На основании этих данных система осуществляет верификацию и интерпретацию, выдает вид дефекта, степень его развития. Инженер-химик, оценив выводы, сделанные системой, фиксирует свое заключение в БД. Результаты ХАРГ и ФХАМ вместе с заключением инженера-химика транслируются в центральную БД энергосистемы и БД соответствующих сетевых предприятий. Информация с персональных компьютеров (ПК) РЭС по линиям связи поступает в ПК сетевого предприятия (на II уровень).

На втором уровне с системой работают инженер по диагностике и начальник службы изоляции (или аналогичной по функциям службы). Проводится необходимая обработка данных измерений: сравнение с результатами испытаний на заводе или при монтаже оборудования с данными предыдущих измерений параметров и соотношений между ними; отслеживается динамика изменений параметров и соотношений между

ними. Полученные параметры, описывающие состояние объекта, поступают в базу знаний, где сравниваются с нормативными значениями. Если значение какого-либо параметра вышло за пределы допустимого диапазона (тестирование не пройдено), то осуществляется более глубокая диагностика. В результате выдается вид дефекта, степень его развития, рекомендации персоналу по дальнейшим действиям и, если нужно, необходимый набор дополнительных измерений с указанием сроков проведения. Инженер по диагностике может просмотреть результаты расчета параметров и объяснение постановки диагноза. Анализ информации ведется как в текстовом, так и в графическом виде.

В задачи системы входит составление графиков проведения плановых испытаний и измерений для оборудования в нормальном рабочем состоянии и экстренных измерений для оборудования, находящегося на контроле. Инженер по диагностике при необходимости корректирует график, выданный системой.

ЭС «Альбатрос» имеет средства, поясняющие принятые решения – база фактических случаев из опыта эксплуатации, что позволяет использовать систему в качестве репетитора для повышения квалификации персонала. Начальник службы получает от системы сверку планов-графиков измерений с фактически выполненными испытаниями и измерениями, мониторинг проведения других эксплуатационных мероприятий, список оборудования, находящегося на контроле. На основании этих документов испытателям выдается задание на выполнение работ и проводится согласование профилактических и других эксплуатационных мероприятий с заинтересованными службами (диспетчерской, автотранспортной, производственно-технической). При внештатных ситуациях начальник службы на основании результатов обработки и анализа информации о рассматриваемом объекте, проведенном диагностической системой, готовит решение о дальнейшей его эксплуатации, согласовывая свои действия с руководством. В сложных ситуациях инженер по диагностике или начальник службы сетевого предприятия обращается к специалистам управления.

Информация об оборудовании (данные измерений и паспортные характеристики) из БД сетевых предприятий дублируется в БД управления энергосистемы (на III уровень). Специалист по диагностике и начальник службы изоляции (или аналогичной по функциям) энергосистемы принимают решения о дальнейшей эксплуатации оборудования, находящегося в ведении управления, и в сложных ситуациях – на сетевых предприятиях. Для поддержки принятия решений диагностическая система предоставляет те же возможности, что и на уровне сетевого предприятия.

На III уровне проводится общий по энергосистеме анализ брака и отказов оборудования, осуществляется сравнительный анализ служб изоляции предприятий. По результатам анализа руководство энергосистемы

может корректировать кадровую политику, уточнять целевое распределение материальных ресурсов и проведение организационных мероприятий.

Для опытных специалистов по диагностике (экспертов) система предоставляет возможность на основе статистики измерений за ряд лет рассчитать граничные (нормативные) значения параметров. На основании этих расчетов эксперт может изменить в диагностической системе значения зоны риска и предельно допустимые значения по всем контролируемым параметрам, формируя тем самым политику диагностики.

Так как с системой работают несколько категорий пользователей, то должна быть четко продумана технология работы с информацией. Непротиворечивость и целостность данных обеспечивается единой кодировкой справочников по структуре энергосистемы, формирующих адрес оборудования, а также сервисных справочников, выражающих политику эксплуатации и диагностики. Справочная информация редко обновляется, формируемая на уровне управления энергосистемы, дублируется на второй и третий уровни, в основном, без права редактирования. Для трансляции информации между уровнями можно делать выборки по виду измерения, типу оборудования, месту установки и времени проведения измерения. При слиянии поступившей информации с центральной БД системы (после транспортирования между уровнями в обоих направлениях) происходит проверка информации на непротиворечивость с учетом приоритета достоверности, оценивается полнота внесенной информации в конкурирующих записях, исключается тавтология записей.

База знаний системы содержит блоки диагностики по ХАРГ, ФХАМ, диэлектрическим характеристикам твердой изоляции, потерям опыта холостого хода, сопротивлению обмоток на постоянном токе.

Результаты распознавания состояния объекта на основе различных видов измерений (в том числе и разными методами диагностики) поступают в модуль общей интерпретации базы знаний, который выдает заключение о состоянии диагностируемого оборудования.

Для ранней диагностики и в трудно распознаваемых случаях производится диагностика по результатам ХАРГ методами графической интерпретации: выдаются графики, отражающие количественное содержание газов и соотношения между газами в масле, которые сравниваются с графическими образами типичных дефектов, выбирается наиболее похожий. Такой метод диагностики более 20 лет применяется в Японии. В экспертной системе метод модифицирован: в диаграммы добавлены два газа: СО и СО₂, диаграммы типичных дефектов изменены с учетом отечественного опыта диагностики. Дополнительно используется метод распознавания состояния объекта с помощью треугольника Дюваля (Канада), в котором распознается шесть дефектов по трем газам: С₂Н₄, СН₄, С₂Н₂.

В основу базы знаний легли отечественные и зарубежные публикации по диагностике оборудования, многолетний опыт работы специали-

стов-экспертов ряда энергосистем (в первую очередь ОАО Свердловэнерго), научно-исследовательские работы, и нормативные документы.

Для более точной и дифференцированной диагностики проведены работы по определению граничных значений концентраций газов по трансформаторам с разделением по классу напряжения и типу защиты масла, по вводам с разделением по классу напряжения и марке масла, по трансформаторам тока и напряжения с разделением по классу напряжения и типу конструкции.

В 1998 г. специалисты ОАО Свердловэнерго протестировали с помощью системы выводов из эксплуатации 21 силового трансформатора и последующее вскрытие. Достоверность выдаваемых диагнозов по результатам тестирования составила 96 %.

«ИС диагностики состояния ЭО», Украина. Разработана на базе Web технологий и предназначена для паспортизации оборудования и оценки его технического состояния [7]. С 1999 г. специалистами ЭТЛ-СЕРВИС ведется работа над созданием баз данных по электрооборудованию - Web приложения выполненного по технологии «клиент-сервер», которую можно представить так:

1. Клиент формирует и посылает запрос к базе данных (БД) сервера, вернее – к программе, обрабатывающей запросы.

2. Эта программа производит манипуляции с БД, хранящейся на сервере, в соответствии с запросом, формирует результат и передаёт её клиенту.

3. Клиент получает результат, отображает его на дисплее и ждет дальнейших действий пользователя. Данный цикл повторяется, пока пользователь не закончит работу с сервером.

Одним из преимуществ этой технологии для внедрения её предприятиями является то, что программа (сервер) установлена на одном достаточно мощном компьютере (например Celeron 2000 MHz 256 Mb) выполняет все запросы пользователей, то есть нет необходимости установки каких-то специальных программ на рабочих местах, достаточно MS Internet Explorer. Доступ к данным возможен с каждого компьютера служб диагностики магистральных электросетей (МЭС) при условии подключения их к вычислительной сети предприятия (подключение может осуществляться и через модем). Права, возможности просмотра и изменения данных определяются паролем, который устанавливается центральной службой диагностики. Каждый пользователь заходит под своим паролем и имеет доступ только к тем записям, которые определяются правилами безопасности. Например, возможность вносить данные только по оборудованию своей сети (МЭС), определенный срок для уточнения внесенных данных – до 2-х дней, т.е. полный доступ (включая паспортные данные) возможен только под паролем администратора, что уменьшает возможность ошибки при внесении и исправлении данных. Для

удобства контроля над внесёнными пользователями данными существует возможность просмотра новых записей в базе данных по всем видам испытаний, одновременно проверяя дату и причину следующего контроля.

С помощью «ИС диагностики состояния ЭО» проводится диагностика технического состояния следующего оборудования: силовых масляных трансформаторов, автотрансформаторов и масляных шунтирующих реакторов 35-750 кВ, высоковольтных вводов 150-330 кВ, трансформаторов тока 330-750 кВ, трансформаторов напряжения 150-330 кВ. Как правило, решение о состоянии оборудования принимается на основе норм и требований регламентированных в руководящих документах. Но есть и некоторые особенности. Так при **диагностике силовых трансформаторов** для каждого типа трансформатора в программе реализованы свои схемы измерения контролируемых величин. Пользователь заполняет формы уже с определенными схемами измерений, что вносит однотипность и улучшает пригодность результатов для дальнейшего анализа. Принято считать, что комплексная диагностика всегда начинается с данных хроматографического анализа т.к. это испытание проводится наиболее регулярно и наиболее «чутко» позволяет следить за процессами, происходящими в маслonaполненном оборудовании. Хотелось отметить реализацию графического метода диагностики, где вид развивающегося дефекта ориентировочно определяется путём сравнения 2-х графиков - первый построен по относительным концентрациям известного дефекта и второй по концентрациям диагностируемого оборудования. При диагностике трансформаторов тока (ТТ) применяются два основных вида контроля состояния изоляции ТТ, эффективность которых подтверждена теоретически и многолетним опытом применения. Это измерение $\text{tg}\delta_1$ основной изоляции ТТ под рабочим напряжением и измерение $\text{tg}\delta_1$ от передвижной ЭТЛ-300 при 50, 105 и 210 кВ (контроль зависимости $\text{tg}\delta_1$ изоляции от напряжения). Существующий нормированный в эксплуатации объём испытаний практически (в частности измерение $\text{tg}\delta_1$ изоляции при 10 кВ на отключенном ТТ) не позволяет обнаруживать ни дефекты, приводящие к повреждениям, ни явления аномального старения, в большей степени из-за помех от шин и ЛЭП, находящихся под напряжением 330 кВ. Поэтому проводится измерение $\text{tg}\delta_1$ основной изоляции от передвижной ЭТЛ-300. Кроме абсолютной величины $\text{tg}\delta_1$, для диагностики используется приращение $\Delta\text{tg}\delta_1$ изоляции ТТ при изменении напряжения от 105 до 210 кВ ($\Delta\text{tg}\delta_1$ 105-210). При этом дефектными считаются как ТТ, у которых $\text{tg}\delta_1$ увеличивается ($\Delta\text{tg}\delta_1 > 0,1\%$), так и ТТ с уменьшающимся $\text{tg}\delta_1$ при повышении напряжения. Следует заметить, что второй случай может быть более опасным, т.к. в отличие от первого (который говорит об общем ухудшении состояния изоляции) свидетельствует о пробое части изоляционных промежутков (между несколькими обкладками).

Вносимые в систему данные измерений сравниваются с результатами испытаний на заводе или при монтаже, после капитального ремонта оборудования и с данными предыдущих измерений, отслеживается динамика изменений параметров («линия жизни» возможность просмотра результатов испытаний как по всем видам испытаний, так и по выбранному виду) и соотношений между ними (делаются необходимые расчеты по приведению к одной температуре и пр.). В зависимости от результатов проведенного анализа назначается дата следующего испытания или согласно утверждённой периодичности или срок контроля сокращается и оборудование попадает в категорию «учащенного контроля». Использование для диагностики оборудования нескольких видов измерений повышает достоверность диагнозов, т.е. используется многоаспектная диагностика – один диагностируемый объект рассматривается с различных точек зрения, с применением нескольких методов распознавания дефекта используя единую базу данных. Система помогает в оценке степени естественного старения оборудования и отслеживании развивающихся в нём дефектов, помогает определить сроки и виды необходимых измерений и эксплуатационных мероприятий.

Активная разработка экспертных систем проводится и в странах дальнего зарубежья. Так, экспертная система диагностики состояния силовых трансформаторов «ANNERS» явилась результатом пяти лет совместной работы университета в Вирджинии и компании Doble Engineering [8]. Диагноз ставится на основе определения концентраций девяти ключевых газов и их отношений (водорода H_2 , метана CH_4 , этана C_2H_6 , этилена C_2H_4 , ацетилена C_2H_2 , окиси углерода CO , углекислого газа CO_2 , кислорода O_2 и азота N_2). Принятие решения производится с учетом данных о размерах трансформатора, его изготовителе, объеме масла, истории эксплуатации (режимы работы и результаты профилактики). Большая база знаний, необходимая для этого, может управляться вручную. Система выдает пять вариантов диагноза, не считая нормального состояния трансформатора, перегрев масла и целлюлозы, перегрев масла, разряды низкой энергии, разряды высокой энергии или дуга, деградация целлюлозы. Возможно и выявление комбинации нескольких дефектов. Сравнение с постановкой диагноза по методу Роджерса показывает, что система «ANNERS» выявила практически все предложенные дефекты, а по Роджерсу достоверно выявилось только 14 % [8, 9]. Экспертная система для интерпретации результатов ХАРГ масла использовалась в энергокомпании American Electric Power, США, еще до 1994 г. Еще раньше институтом IREQ (Канада) была разработана упомянутая выше экспертная система для энергокомпании Hydro Quebec. Этой системой может пользоваться персонал сравнительно невысокой квалификации, осуществляя постановку уверенного диагноза на основе результатов ХАРГ масла.

Анализ функциональных возможностей различных экспертных систем. В таблице 1 представлен сравнительный анализ одиннадцати систем, разработанных до коммерческой стадии, имеющих опыт внедрения, приведенный в [10].

Таблица 1 - ЭС диагностики маслонаполненного оборудования

Название диагностической системы	Информационные объекты				Выполняемые задачи						Стадия разработки и опыт работы				
	Трансформаторы, реакторы	Высоковольтные вводы	Измерительные транс-ры	Выключатели	ОПН, разрядники, кабели	Диагностика	Планирование ТОиР	Интерпретация ХАРГ/Расчет хроматограмм	Анализ повреждаемости	Справочная система	Экономическая оценка, ранжирование	Динамическая система	Коммерческие образцы	Опытные образцы	Начало внедрения
«Диана», Чирков С.А.	+	+	+	+	+	+	+					+		1990	8-10
«ДиаХром-2000/Полихром», МЭИ	+	+				+	+	/+				+		1991	100
«ЭДИС Альбатрос», УГТУ	+	+	+	+		+	+	+/-	+	+		+		1991	200
«Диагностика+», ИГУ	+	+	+	+	+	+	+	+/-	+		+	+		1992	30
«MultiTest», Владимирэнерго	+	+	+	+	+	+	+					+		1993	30
«Трансформатор/Элхром», ВЭИ	+					+		/+					+	1987	3-6
«Хроматэк Аналитик/Энергетик», ЗАО Хроматэк	+	+				+		/+				+		1995	400
«Диагностика СТ», Донецкая ЭС, Украина	+					+						+		1995	5-10
«ИС диагностики состояния ЭО» ЭТЛ-Сервис, Украина	+	+	+			+	+	+	+			+		2000	7-9
«АС для оценки тех. состояния ЭО», ДонОГРЭС	+	+	+	+	+	+	+		+				+	2001	1
«Диагностика СТ», ОАО Транснефтьналадка	+	+				+							+	2002	1-3

Как видно из табл. 1 наибольшим арсеналом выполняемых функций обладают 4 системы: «Диагностика +», «ЭДИС Альбатрос», «ИС диагностики состояния ЭО» и «Диана». Однако, не смотря на достаточно широкий спектр выполняемых функций, следует выделить следующие недостатки анализируемых ЭС:

1. Отсутствие возможности для оценки достоверности результатов испытаний (кроме «ЭДИС Альбатрос»);

2. Отсутствие информации об учете режимов эксплуатации оборудования и их влияния на интенсивность процессов старения изоляции;

3. Отсутствие возможности резервирования базы данных и базы знаний в случае сбоя системы.

В табл. 2 сравниваются аналитические возможности этих 4 ЭС. Как видно из табл. 2 «ЭДИС Альбатрос» выделяется тем, что при решении многих задач используются не только знания открытых информационных источников, но и знания экспертов, и авторские методики.

Таблица 2 - Аналитические возможности ЭС диагностики оборудования

Название диагностической системы	Тип БЗ		Выполняемые задачи											
	Заполненная БЗ	Оболочка БЗ	Диагностика							Планирование ТОиР	Интерпретация данных	Анализ повреждаемости	Экономич. оценка, ранжирование	
			ХАРГ	ФХАМ	Характеристики изоляции	Опыт XX, ВАХ	Измерение Ром. обмоток	Измерение Z кз	Другие виды контроля					
«Диагностика +» ИГУ	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
«ЭДИС Альбатрос» УГТУ	+	-	#, +, *	#, +	#, +	#, +	#, +	#, +	+	*, +	*, +	*, +	*, +	*, +
«Диана» автор Чирков С.А.	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
«ИС диагностики состояния ЭО» ЭТЛ-Сервис	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-

- Формальный подход к анализу параметров
 + - углубленный подход к анализу параметров, при котором:
 + - используются открытые источники;
 # - используются знания экспертов;
 * - используются авторские методики

Выполненный анализ позволил определить следующие критерии для оценки эффективности ЭС:

- 1) Тип решаемых задач;
- 2) Тип информационных объектов, на которых они специализированы;
- 3) Степени проработки предметной области и обработки информации;
- 4) Время реакции на изменения, происходящие в окружающей среде;
- 5) Достоверность принятых решений;
- 6) Инструментальные средства и стадии разработки;
- 7) Возможность резервирования информации, хранящейся в БД;
- 8) Наличие справочной и обучающей информации.

Выводы.

1. Экспертная система должна строиться в соответствии с структурой и иерархией управления энергокомпанией и иметь четко выделенные уровни. Каждый уровень должен обладать своими функциональными и информационными возможностями, уровнем обобщения, анализа и защищенности информации в соответствии с существующей иерархией организации эксплуатации электрооборудования;

2. Большинство ЭС, как правило, работают с базами данных (БД) в локальной сети предприятия в режиме клиент-сервер.

3. Модель базы знаний должна быть построена в виде иерархической структуры модулей, имитирующих в процессе вывода решения операции логику мышления человека. Модули должны быть специализированы на следующих функциях: построении и трансформации пространств диагностических признаков, распознавании технического состояния и выработке рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту оборудования;

4. На основе сравнительного анализа действующих экспертных систем, разработанных до коммерческой стадии и имеющих опыт внедрения, выделены достоинства и недостатки, а также предложены критерии для оценки эффективности ЭС;

5. Среди рассмотренных 11 экспертных систем, наибольшими преимуществами обладает «ЭДИС Альбатрос».

Список литературы: 1. *Алексеев Б.Л.* Контроль состояния крупных силовых трансформаторов / Б.Л. Алексеев. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 216 с. 2. *Назарычев А.Н.* Основные принципы системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по техническому состоянию // Надежность либерализованных систем энергетики / Под ред. Н.И. Воропая, А.Д. Тевяшева. – Новосибирск : Наука, 2004. – С.173–189. 3. *Г.В. Попов* Экспертная поддержка при диагностике состояния силовых трансформаторов // *Попов Г.В., Ватлецов А.В., Аль-Хамри С.С.* // Электротехника. – 2003. – № 8. – С. – 5–11. 4. *Е.Б.Игнатьев*

Оценка состояния электрооборудования на основе программного комплекса "Диагностика+" в режиме on-line / *Игнатьев Е.Б., Комков Е.Ю., Попов Г.В.* // VIII Симпозиум "Электротехника 2010" : Сборник тезисов докладов, доклад 4.13, М.: ВЭИ. – 2005. **5.** *И.В. Давиденко* Структура экспертно-диагностической и информационной системы оценки состояния высоковольтного оборудования / *Давиденко И.В., Голубев В.П., Комаров В.И., Осотов В.Н.* // Электрические станции. – 1997. – №6. – С. – 25–27. **6.** *И.В. Давиденко* Система компьютерной диагностики маслонаполненного оборудования в рамках энергосистемы / *Давиденко И.В., Голубев В.П., Комаров В.И., Осотов В.Н., Туркевич С.В.* // Энергетик. – 2000. – № 11. – С. 52–56. **7.** ООО «ЭТЛ-СЕРВИС»: разработка информационных систем – 2000-2006 гг. – Режим доступа: <http://www.etl-service.com.ua/info>. **8.** *Zhenyuan Wang* Diagnostics of transformers with the help of neural networks and expert systems / *Zhenyuan Wang, Yilu Liu, Griffin P.J.* // IEEE Industry Applications Magazine. – 2000. – Vol. 6. – № 2. – P. 50-55. **9.** *Islam S.M.* Application of indistinct logic at statement of the diagnosis to the transformer with defects / *Islam S.M., Wu T., Ledwich G.* // IEEE Trans, on Dielectrics and Electr. Insulation. – 2000. – Vol. 7. – №2. – P. 177–186. **10.** *Давиденко И.В.* Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования : автореф. дис. доктора техн. наук.– Екатеринбург : 2009. – 45 с.

Поступила в редколлегию 24.12. 2010