

МОСКОВСКОМУ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ (ТУ) — 75 ЛЕТ

Московскому
энергетическому институту — 75 лет

Кафедре тепловых электрических
станций МЭИ — 75 лет

Технические решения
по регулированию электрической нагрузки
одновальных энергетических ГТУ.
Российский и зарубежный опыт

Расчет коэффициента теплопередачи
в испарителе кипящего типа на практике

О проблеме координации
уровней токов короткого замыкания
в энергосистемах

К развитию компьютерных технологий
в эксплуатации электрооборудования
электростанций

Еще раз о составляющих модели
отказа выключателя

Расчет электродинамической стойкости
и других параметров жесткой ошиновки ОРУ
высоких и сверхвысоких напряжений

Защита низковольтных электроустановок
с.н. электростанций от коротких замыканий

Технико-экономический анализ
параметров распределительных электрических
сетей городов с учетом их развития

Комплексные анализаторы
процессов функционирования
электрооборудования электростанций

К истории энергетики России

ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВО ЗА РУБЕЖОМ

Системные аварии
и меры по их предупреждению

ХРОНИКА

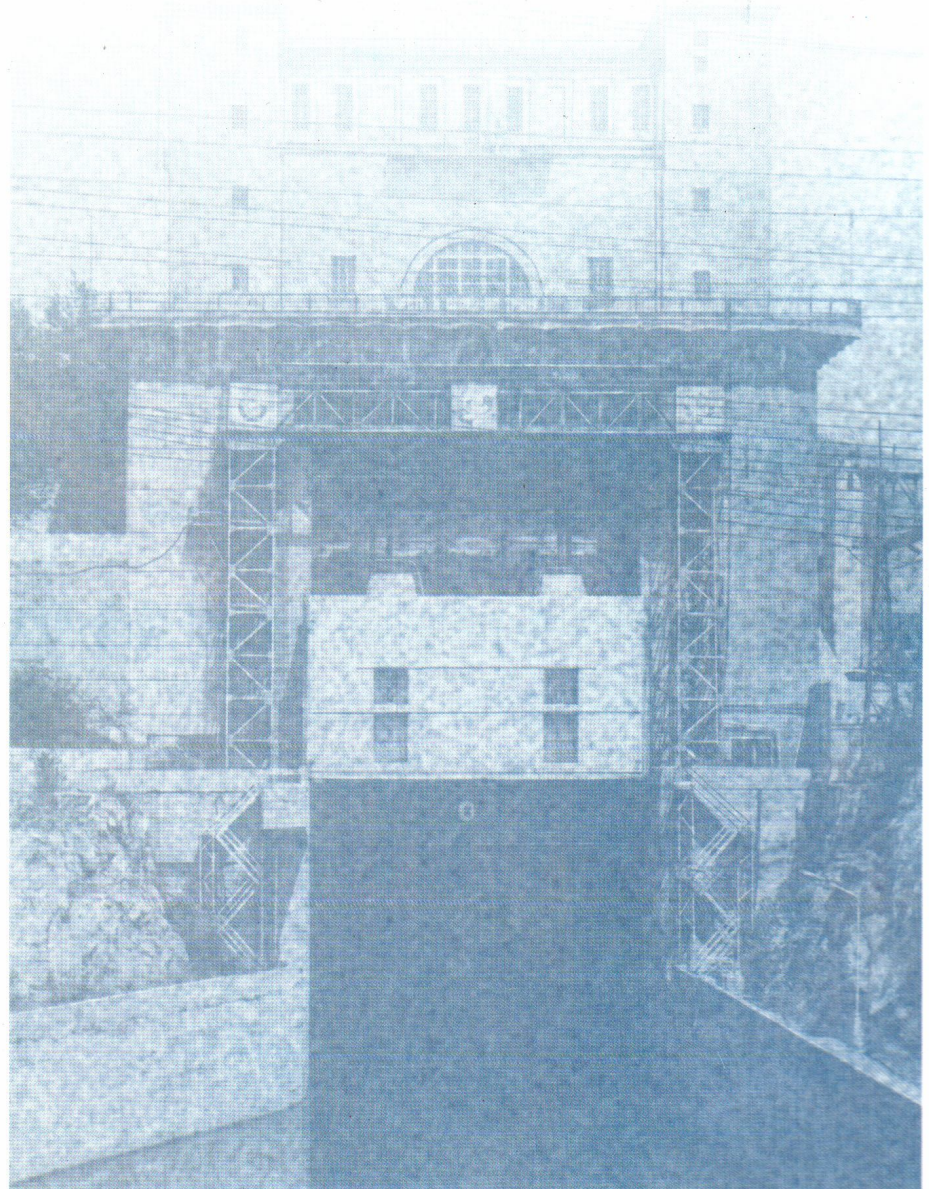
Научно-технический семинар
“Водно-химические режимы
и водоподготовка на тепловых
электростанциях”

Выставка
“Power Kazakhstan 2004”

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ISSN 0201-4564

2005 4



К развитию компьютерных технологий в эксплуатации электрооборудования электростанций

Васин В. П., доктор техн. наук, Лоскутов В. Ф., инж.,
Старшинов В. А., Поляков А. М., кандидаты техн. наук

Московский энергетический институт (Технический университет) – Нововоронежская АЭС

При эксплуатации электрооборудования персоналу электростанций приходится решать множество различных текущих проблем, связанных с оценкой технического состояния оборудования, планированием его обслуживания и замены. Очень важно иметь возможность накопления данных о параметрах, характеризующих стойкость оборудования к различным воздействиям, для прогнозирования возможности выхода его из работоспособного состояния. Особенно актуально в настоящее время накопление информации о расходовании ресурса для принятия решения о продлении срока эксплуатации оборудования, выработавшего номинальный ресурс работы.

Переход от жесткого планирования ремонтов и технического обслуживания к обслуживанию по состоянию, использование систем электронного документооборота, электронных баз данных по ведению истории эксплуатации и данным испытаний дают предпосылки для создания и внедрения автоматизированных систем контроля технического состояния электрооборудования на электростанциях. Вместе с тем, наличие таких оперативно-управляемых баз данных обеспечивает быстрый доступ к параметрам, характеризующим состояние электрооборудования, аналитическую оценку состояния в процессе текущей эксплуатации и привлечение экспертов самых разнообразных специальностей к выработке решений о путях наиболее рационального использования ресурсов.

Последнее заслуживает более глубокого осмысления. Действительно, нет и никогда не будут существовать специалисты, способные дать детальный анализ технического состояния всей совокупности оборудования, применяемого на электростанциях. Наиболее рационально иметь возможность оперативно и уверенно привлекать к анализу состояния оборудования разных экспертов, работающих в разных городах, на разных предприятиях, экспертов, глубоко знающих конкретный пусть достаточно узкий класс оборудования. Здесь имеется в виду не метод Дельфи – метод опроса коллектива экспертов и принятия решения путем взвешивания их оценок. Задача более простая и в то же время более сложная – привлечь к оценке специалистов, непосредственно работающих над созданием и контролем технического состояния

оборудования разного класса. Это, конечно, самый надежный подход, если обеспечить таких экспертов достаточно полной и качественной информацией. Современные компьютерные технологии дают такие возможности.

Одной из систем такого класса известных нам является система Lotus Notes Domino, которая, по-видимому, впервые представила систему, дающую возможность создания дискуссионных баз данных и обсуждения специалистами в рамках корпорации разнообразных бизнес-проектов и даже проведения конференций в эфире [1, 2].

Представляется, что внедрение такой технологии позволит существенно ускорить оценку состояния и повысить в целом эффективность эксплуатации сложного электрооборудования станций. Но для этого необходимо создать и постоянно обновлять данные по эксплуатации оборудования, фиксировать все результаты испытаний на основе единого методического подхода, сделать такие данные, доступными в любой точке земного шара.

Разработка этого направления ведется на кафедре электрических станций МЭИ (ТУ). Характеристика реализованной системы контроля технического состояния и методических подходов к решению указанных задач приведена далее.

Назначение системы контроля технического состояния электрооборудования АЭС. Система предназначена для хранения и обработки информации по электротехническому оборудованию электростанции и персоналу, занимающемуся его эксплуатацией, для подготовки необходимой документации и формирования экспертного заключения по техническому состоянию и ресурсным характеристикам основного электрооборудования.

Система обеспечивает:

учет сведений о находящемся в эксплуатации первичном оборудовании (генераторах, трансформаторах, электродвигателях, выключателях и др.), вторичном (приборы, комплекты защит и др.), вспомогательном (инструменты, защитные средства и др.) и другом;

учет сведений по испытаниям генераторов, трансформаторов, выключателей и измерительных трансформаторов тока типа ТФРМ; для генераторов, трансформаторов, выключателей и измерительных трансформаторов тока типа ТФРМ поддер-

живается система экспертной оценки их текущего состояния по результатам испытаний;

учет выполнения ремонтных работ;

ведение журнала дефектов;

хранение нормативно-справочной документации;

формирование отчетов и справок.

Структура системы. Программа имеет модульный принцип и подразделяется на информационно-поисковую систему (ИПС) и систему оценки технического состояния электрооборудования (ОТС).

Информационно-поисковая система обеспечивает хранение информации об оборудовании, измерениях и др., удобный и быстрый поиск и сортировку этой информации, ее редактирование, печать необходимых отчетов и другие сервисные функции.

Система ОТС обеспечивает анализ хранимой информации по испытаниям электрооборудования и формирование соответствующего заключения о техническом состоянии оборудования. Оценки технического состояния производятся для воздушных выключателей, изоляции обмотки статора турбогенераторов, силовых маслонаполненных трансформаторов и измерительных трансформаторов тока типа ТФРМ.

Система оценки технического состояния. Для генераторов, трансформаторов, выключателей и измерительных трансформаторов тока типа ТФРМ поддерживается система оценки технического состояния по результатам испытаний и параметрам текущего состояния.

Данные испытаний анализируются соответствующим образом:

проводится сравнение с нормами, предусмотренными РД "Объем и нормы испытаний электрооборудования" [3];

выявляются тенденции изменения измеренных параметров во времени;

о всех отклонениях от норм и при аномальных тенденциях показателей система вырабатывает соответствующие сообщения в разных видах: в виде протокола состояния на данный момент времени; в виде таблиц значений с указанием предельно допустимых значений в соответствии с нормативными документами; в виде графиков, которые могут быть инициированы пользователем.

При наличии тенденции приближения параметра к критическому значению прогнозируется срок достижения критического значения.

Для всех видов испытаний информация может быть получена как в виде таблиц, так и в виде графиков.

Для воздушных выключателей обеспечивается хранение информации об истории эксплуатации, производится расчет коммутационного и механического ресурсов и запаса коммутационной устойчивости по каждому полюсу.

В заключении выдаются следующие сведения:

значение остаточного коммутационного ресурса по фазам;

значение остаточного механического ресурса по фазам;

прогнозируемый с определенной степенью достоверности срок, до которого можно продлить работу выключателя по условию расхода коммутационного и механического ресурсов.

Прогнозируемый срок, до которого можно продлить работу выключателя, определяется на основе статистической обработки зависимости расхода ресурса во времени.

Для получения более полной картины предусмотрен подход к определению срока продления работы выключателя на основе теории пуассоновских потоков случайных событий. Предполагается возможность задания интенсивности потока коротких замыканий (ω , 1/год) в рассматриваемом присоединении и диапазона токов короткого замыкания (задаются экспертом для присоединения, коммутируемого данным выключателем). При этом срок работы выключателя до достижения полного срабатывания ресурса вычисляется с определенной вероятностью при учете заданной частоты возникновения токов короткого замыкания.

Для турбогенераторов обеспечиваются хранение информации о результатах испытаний и формирование заключений по каждому новому набору характеристик турбогенератора, полученному в результате плановых испытаний или после аварийных отключений и ремонтов.

Формирование заключений производится на основе сопоставления полученных значений технических параметров агрегата с нормативными значениями, указанными в [3].

На основе таких сопоставлений формируются сообщения пользователю о соблюдении нормативных требований или достижении области граничных значений или нарушении нормативных условий.

По результатам анализа формируются оценки ресурса изоляции или его выработки в отдельности по каждой параллельной ветви фазных обмоток статора.

В заключении выдаются следующие сведения (см. рис. 1):

отклонение параметра от нормативного значения; наличие больших колебаний параметра в процессе эксплуатации;

отклонение параметра одной из фаз (ветвей) по отношению к другим;

оценка вероятного ресурса изоляции обмотки статора;

оценка целесообразности замены обмотки статора (при наличии данных осмотра) в соответствии с Типовым положением.

Для силовых трансформаторов обеспечивается хранение результатов контроля изоляции фазных обмоток (тангенс дельта и сопротивления изоля-

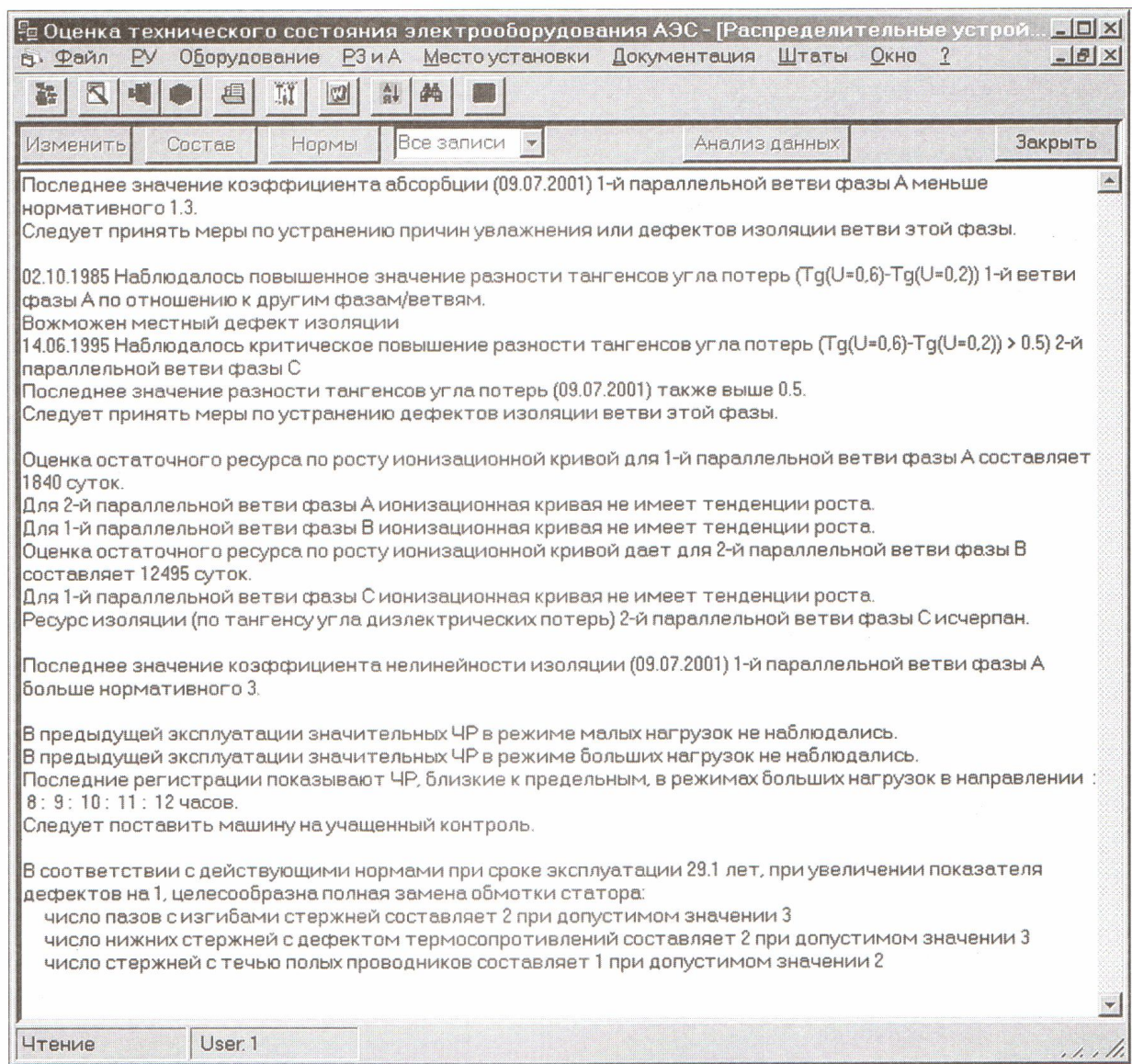


Рис. 1.

ции) для разных схем соединения обмоток; результатов измерения потерь холостого хода, физико-химических характеристик трансформаторного масла в основном баке, в баке устройства РПН, в высоковольтных вводах; результатов хроматографического анализа растворенных в масле газов.

Реализована программная процедура анализа растворенных в масле газов, которая определяет, характеризует ли данный набор показателей хроматографического анализа нормальное состояние трансформатора или он дает основание для идентификации наличия внутреннего дефекта в трансформаторе.

В заключении выдаются следующие сведения и рекомендации (см. рис. 2):

- периодичность контроля на момент проведения испытания;
- превышение нормируемого значения концентрации газа;
- превышение скорости нарастания концентрации газа (больше 10%);
- характер прогнозируемого дефекта;

рекомендации по принятию решения (вывод в ремонт, переход на учащенный контроль с рассчитываемой периодичностью, проведение дегазации и т.д.).

Для измерительных трансформаторов тока типа ТФРМ обеспечивается хранение результатов контроля сопротивления изоляции; результатов измерения сопротивления обмоток постоянному току, физико-химических характеристик трансформаторного масла, результатов хроматографического анализа газов, растворенных в масле.

В заключении выдаются следующие сведения (см. рис. 3):

- отклонение параметра за нормативное значение;
- прогнозируемый срок достижения критического значения параметра.

Представленные возможности рассматриваемого программного обеспечения позволяют оперативно получать информацию об электротехническом оборудовании и обеспечивают возможность принимать решения о техническом состоянии электрооборудования и планировании ремонтов.

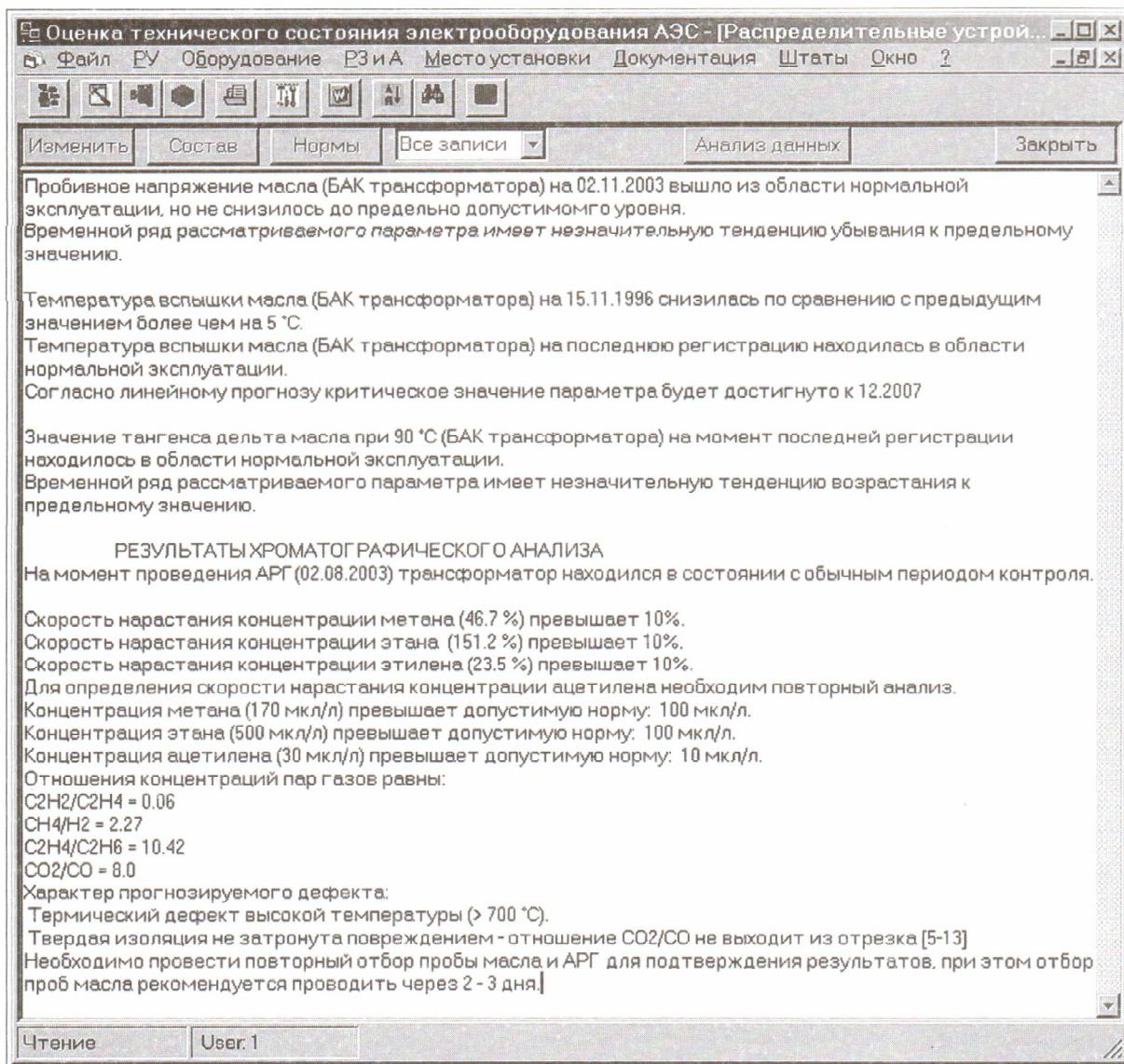


Рис. 2.

Вероятностное описание состояния сложного технического объекта. В настоящее время получила всеобщее признание необходимость учета неопределенности информации при формулировке диагностического заключения о техническом состоянии объекта контроля. Широко разрабатывается технология нечеткого анализа, методов нечеткой логики. Это направление требует специального обсуждения. Вместе с тем, ряд разработчиков диагностических систем интенсивно исследует вероятностные методы диагностики. Далее обсуждается именно этот вопрос.

В общем виде задача контроля технического состояния может быть представлена как проверка выполнения определенной системы неравенств:

при работоспособном состоянии объекта обследования для каждого из контролируемых в соответствии с условиями на техническую эксплуатацию параметров X_i должно выполняться одно из следующих условий:

$$m_i \leq X_i \leq M_i;$$

$$X_i \leq M_i;$$

$$m_i \leq X_i,$$

где M_i , m_i – соответственно верхний и нижний допустимый предел изменения контролируемого параметра (заданы техническими условиями эксплуатации объекта или в [3]). Обозначим через D_i множество допустимых значений параметра X_i , границу множества D_i – через ∂D_i .

Согласно указанному D_i – это или отрезок $[m_i, M_i]$, или промежуток $(-\infty, M_i]$, или промежуток $[m_i, +\infty)$. При этом выполнение нормативных требований запишется в виде $X_i \in D_i$, а приближение к границе можно характеризовать расстоянием X_i до ∂D_i .

Если в результате испытаний получено конкретное значение параметра X_i , то само по себе сравнение по указанным выражениям очевидно. Но совсем не очевидно, как воспринимать полученное неравенство, хорошо или плохо выполняются нормативные требования, опасно или не

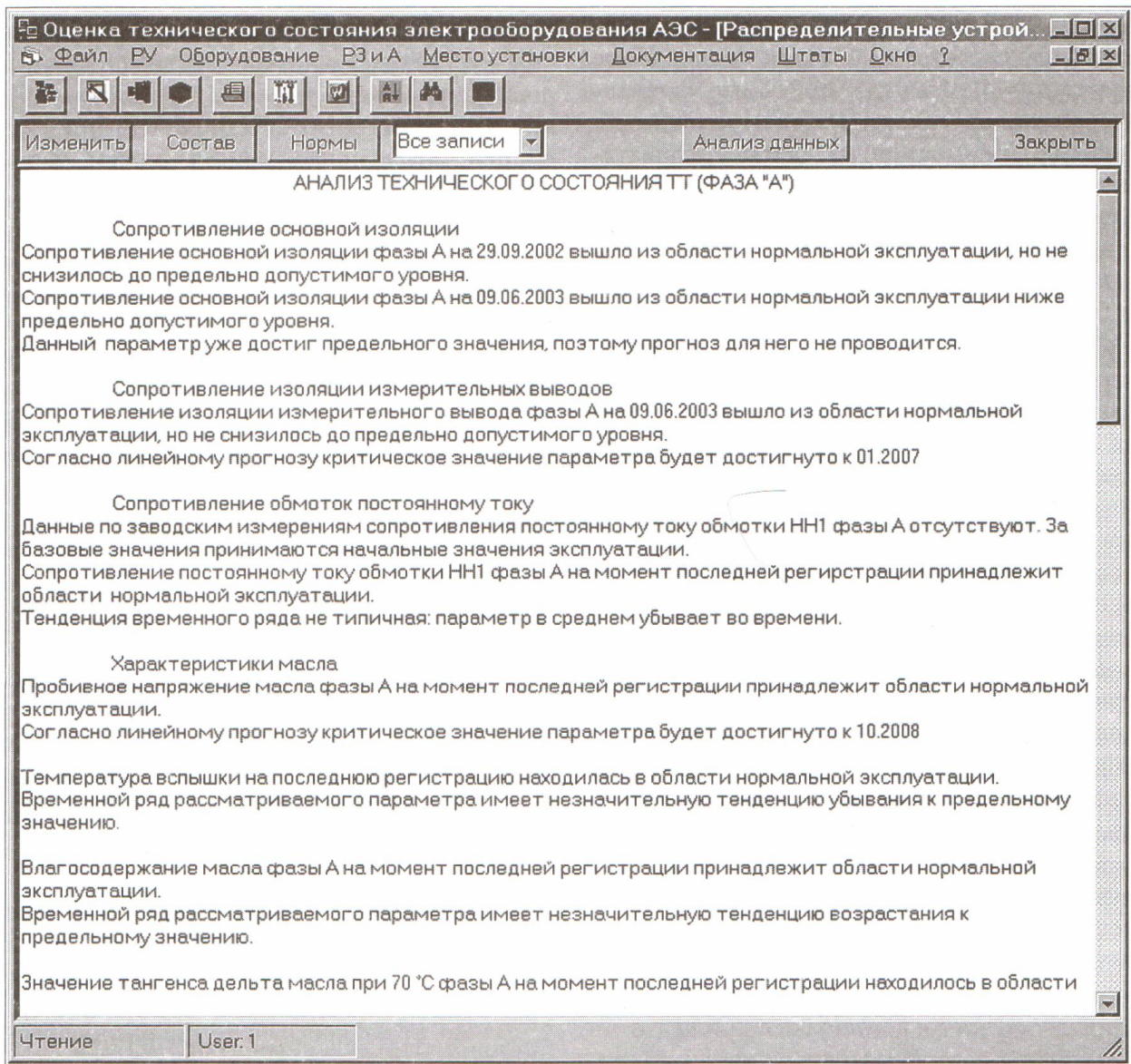


Рис. 3.

опасно приближение контролируемого параметра к границе допустимых значений, насколько хорошо, насколько плохо, насколько опасно и насколько безопасно.

При этом для характеристики надежности выполнения нормативных требований естественно принять вероятность попадания контролируемого значения в область допустимых значений: $P\{X_i \in D_i\}$.

Если эта вероятность близка к 1, можно быть уверенным в выполнении рассматриваемого требования. Если эта вероятность заметно отличается от 1, то работа в таких условиях будет рискованной.

В обычных задачах принимается в качестве допустимого значения такой вероятности 0,9 или 0,95, иногда (редко) 0,99 и совсем редко 0,999 и даже 0,9999. Такие значения выбираются в зависимости от ответственности рассматриваемого объекта и характера возможных последствий от нарушения его работоспособности.

Для объекта в целом, чтобы все контролируемые параметры принадлежали области допусти-

мых значений, необходимо потребовать одновременно $X_i \in D_i$ для всех $i = 1, 2, \dots, N$.

Так как вероятностное распределение определяется в рассматриваемом случае процессом измерения, то можно принять допущение о независимости измерений всех контролируемых параметров. (Если независимости нет, следует признать неудовлетворительной систему обследования, поскольку ошибки измерений от одного испытания переходят в другое.)

При выполнении независимости вероятность того, что вся совокупность контролируемых параметров принадлежит допустимой области, будет равна произведению вероятностей

$$P_{06} = P\{X_1 \in D_1\} P\{X_2 \in D_2\} \dots P\{X_N \in D_N\}$$

или

$$\ln(P_{06}) = \ln(P\{X_1 \in D_1\}) + \ln(P\{X_2 \in D_2\}) + \dots + \ln(P\{X_N \in D_N\}).$$

Интересно отметить, что из последнего непосредственно наблюдается кумуляция – накопление риска для сложных объектов. Действительно, поскольку вероятность всегда меньше единицы, то каждое из слагаемых, стоящих справа, отрицательное, и по мере увеличения числа слагаемых сумма становится все более отрицательной и соответственно вероятность принадлежности области допустимых значений для объекта в целом уменьшается тем больше, чем больше слагаемых.

Так, уже при $N = 30$ такое уменьшение велико. Например, если каждый параметр удовлетворяет условию принадлежности области допустимых значений с вероятностью 0,95 [хороший, на первый взгляд, запас надежности, при этом $\ln 0,95 = -0,051$ и $\ln(P_{об}) = 30(-0,051) = -1,3$], а вероятность того, что объект в целом удовлетворяет нормативным условиям, $P_{об} = 0,273$, то такая вероятность не может быть принята для практического применения. Следовательно, вопрос о точности выполнения и соответственно достоверности контроля условий допустимости имеет принципиальное значение и определяется необходимостью учитывать накопление риска.

Распределение вероятности ошибки измерения собственно и определяет значения $P\{X_i \in D_i\}$. Если известна плотность распределения вероятности ошибки $p_i(x)$, то

$$P\{X_i \in D_i\} = \int_{D_i} p_i(x) dx.$$

Обычно принимается нормальный закон распределения вероятностей. При этом ссылаются на центральную предельную теорему теории вероятностей. Эта аргументация хорошо известна. Менее известна другая аргументация [1, 2].

Суть указанного подхода состоит в том, что подробное исследование всех законов распределения для многочисленных параметров, входящих в [3], очевидно, провести невозможно в силу его обширности. Поэтому целесообразно исходить из выбора закона распределения, дающего наибольшую неопределенность – наибольшую энтропию распределения. Если принять условия, что рассматриваемое распределение должно иметь математическое ожидание и дисперсию, совпадающие с результатами измерений, то таким законом распределения является закон Гаусса (или нормальный закон распределения) с плотностью вероятностей.

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \left[-\frac{[x - M_x]^2}{2\sigma_x} \right].$$

Приведенное положение дает хорошую основу для оценки риска при контроле работоспособности. Но для его применения надо знать математическое ожидание M_x и среднее квадратическое от-

клонение измеряемого параметра σ_x . Другие подходы могут быть основаны на предположении, что дисперсия в свою очередь является случайной величиной. Применяются и более сложные модели и оценки риска, приводящие к смесям распределений [4, 5].

При этом за математическое ожидание такого распределения принимается результат измерения X_i (если принять другую точку зрения, следует признать наличие неслучайной, методической ошибки – этот случай должен быть исключен как некачественный). Относительно того, каким принять значение σ_x , вопрос более сложен. Наиболее правильным представляется проведение серии измерений и по выполненной серии оценка среднеквадратического отклонения методами математической статистики. Так собственно и поступают в ряде случаев, например, при определении электрической прочности масла. При этом трудоемкость контроля, естественно, возрастает многократно. Альтернативным подходом может служить предположение о том, что дисперсия в свою очередь распределена по определенному закону. Это, как известно, приводит к распределению Лапласа [1, 2]. В полной мере недостаток знаний может быть устранен расширением объема измерений и повышением точности применяемых приборов. Наконец, надо иметь в виду, что по отдельным параметрам уже есть довольно убедительные исследования по законам распределения вероятностей. Их, конечно, следует использовать.

Далее, не конкретизируя вид распределения вероятностей, будем полагать, что вероятности принадлежности параметров области допустимых значений определены по указанной ранее формуле. Рассмотрим возможности формирования по их значениям суждения о приемлемости или неприемлемости эксплуатации данного объекта.

Сначала рассмотрим один из контролируемых параметров.

Пусть значение параметра X_1 выходит из области допустимых значений. В этом случае ответ очевиден, его следует формулировать так: “Состояние объекта в отношении параметра X_1 соответствует нарушению условий нормальной работы объекта”. Это заключение можно выдавать на экран системы или другой какой-либо интерфейс.

Желательно, однако, иметь количественную меру нарушения нормативного условия. За такую меру, очевидно, следует принять вероятность нарушения нормативного условия. Если исходить из того, что результат измерения есть случайная величина с нормальным законом распределения вероятностей, то при нормативных ограничениях сверху и нарушении нормативного условия на бесконечно малую величину вероятность нарушения этого условия будет равна 0,5. Итак, при $P\{X_i \in D_i\} = 0,5$ результат контроля лежит на границе допус-

тимых значений. При $P\{X_i \in D_i\} = 0,98$ результат лежит в области допустимых значений (ОДЗ) с запасом примерно на два среднеквадратических отклонения и т.д.

Из этого следует хороший подход к требованию точности измерений. Если ошибка измерений составляет 0,5%, то суждение о границе по вероятности, исчисленной по приведенным ранее формулам, надежная. Все находится в пределах 1 – 2%. Если же точность измерений составляет 5%, надо иметь большие запасы по отношению к граничному значению в связи с возможностью случайного изменения параметра и выхода из области допустимых значений. К очень острым вопросам приводит этот подход для задач хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых высоковольтных трансформаторов. Результаты анализа зачастую имеют ошибки, превосходящие 10 – 20%, и вероятностная оценка результата показывает, что отдельное измерение практически не имеет диагностической ценности. Выход все же существует: ценность имеет отслеживание динамики изменения диагностических параметров и установления корреляционной связи их с другими показателями обследования, например, с результатами инфракрасного (или акустического) анализа. Таким образом, вероятностный анализ принадлежности ОДЗ есть только начало, дальнейшие его перспективы – корреляционный анализ показателей разного рода.

Перейдем к случаю, когда результат измерения оказывается в ОДЗ. Опять вычислим вероятность того, что истинное значение принадлежит ОДЗ. Если получим, что она близка к 1/2, то следует признать состояние близким к предельно допустимому. И опять степень близости будет определяться точностью измерений. Соответствующие числовые значения легко считаются по полученным формулам. Но совсем не очевидно, какой запас по вероятности считать допустимым или 0,90, или 0,95, или 0,99 и т.д. Надо иметь достаточно обоснованные соображения о том, какие вероятности принадлежности ОДЗ можно и целесообразно признавать допустимыми. Здесь можно дать достаточно универсальные рекомендации, основанные на следующих двух подходах:

требования одинакового риска по каждому из контролируемых параметров;

требования, взвешенные по среднеквадратическим отклонениям результатов измерений.

Условия одинакового риска. Полагаем, что вероятности принадлежности ОДЗ для всех контролируемых параметров одинаковы и равны γ_0 , их число равно N . Пусть для всего объекта критическая вероятность работоспособного состояния задана и равна $\gamma_{кр}$. Тогда, используя полученные ранее результаты, имеем $\gamma_{кр} = (\gamma_0)^N$ и $\gamma_0 = (\gamma_{кр})^{1/N}$.

Итак, следует считать, что параметр объекта находится в опасной зоне, если полученное по результатам измерений значение соответствует вероятности $P\{X_i \in D_i\}$ большей, чем $\gamma_0 = (\gamma_{кр})^{1/N}$. При этом вероятность работоспособного состояния всего объекта выше $\gamma_{кр}$.

Поэтому параметр, для которого выполняется условие $P\{X_i \in D_i\} > \gamma_0$, следует записать в список благополучных параметров.

Пример. Пусть число параметров $N = 30$, $\gamma_{кр} = 0,98$. Тогда $\gamma_0 = 0,98^{1/30} = 0,99933$;

$\Phi^{-1}(0,99933) = 3,1$; $(M_i - X_i)/\sigma_i = 3,1$ и $X_i = M_i - 3,1\sigma_i$, где Φ – функция Лапласа.

Если σ_i составляет 15% M_i , такое требование означает необходимость для получения положительных заключений иметь довольно большие запасы по отношению к предельным значениям: более 45% по отношению к полученному значению. При этом, как правило, в списке опасных параметров могут оказаться многие результаты измерений.

Особенно сильно указанные обстоятельства сказываются при двусторонних ограничениях на контролируемый параметр. В частности, такие ограничения накладываются на значения резисторов, шунтирующих дугогасящие разрывы в воздушных выключателях 220 – 750 кВ. Здесь может оказаться, что при низкой точности контроля вообще невозможно получить достоверный результат.

Если $P\{X_i \in D_i\} \leq \gamma_0$, то такой параметр надо считать либо находящимся в зоне риска, либо неприемлемым по условию работоспособности. Здесь возникает неоднозначность с нижней границей. Обозначим ее через γ_g . Например, ее можно принять равной 1/2. Это будет, как мы уже выяснили, соответствовать тому, что результат регистрации в точности попал на предельную границу. Если среднеквадратическая ошибка контроля этого параметра мала, то значение 1/2 представляется вполне приемлемым: исследователь может говорить, что параметр “находится на границе”. Это, действительно, опасное состояние.

Поэтому признак принадлежности параметра опасной зоне следует принять в виде: $\gamma_g \leq P\{X_i \in D_i\} \leq \gamma_0$.

Параметр X_i соответствует нарушению работоспособности, если $P\{X_i \in D_i\} \leq \gamma_g$. Последнее дает еще одно соображение о выборе значения γ_g .

Изложенное позволяет сформировать алгоритмическое правило построения признаков соответствия технических параметров технологическим нормам. Всегда приходится находить два значения γ_0 и γ_g . Первое определяется из требования обеспечения выполнения технологических норм для всего объекта в целом. Второе необходимо для дифференциации области опасных значений и области недопустимых значений. Оно условно в том смысле

ле, что дает возможность характеристики степени нарушения ограничений. Степень детализации оценок можно развить, введя еще одно значение вероятности, однако это требует более детального анализа конкретного параметра контроля.

Изложенные соображения позволяют сформировать один из общих методов описания технического состояния сложного объекта на основе автоматического формирования списков параметров, наиболее опасных по степени приближения к предельным значениям. При автоматизированном режиме работы экспертной системы по приведенным правилам генерируются указанные заключения и формируются списки параметров, находящихся в опасной зоне. Это метод удобно назвать "методом всплывающего списка".

Формирование заключения по методу всплывающего списка. Будем последовательно повышать значение гарантии безопасности γ_0 дискретными шагами $\gamma_{01} < \gamma_{02} < \dots < \gamma_{0k}$. Каждому значению γ_{0i} в общем случае будут соответствовать свои, отличные от предыдущего:

список параметров, удовлетворяющих условию безопасности, – СПИСОК-НОРМ:1;

список параметров, близких к предельным значениям, – СПИСОК-ОПАСН:1;

список параметров, нарушивших заданные ограничения, – СПИСОК-НАРУШ:1.

Получим последовательности списков:

СПИСОК-НОРМ:1; СПИСОК-НОРМ:2; СПИСОК-НОРМ:3 и т.д.;

СПИСОК-ОПАСН:1; СПИСОК-ОПАСН:2; СПИСОК-ОПАСН:3 и т.д.;

СПИСОК-НАРУШ:1; СПИСОК-НАРУШ:2; СПИСОК-НАРУШ:3.

По мере повышения γ_0 список параметров, близких предельным, будет расширяться. Это дает по существу динамическое (в стохастическом смысле) описание технического состояния контролируемого объекта в параметрическом пространстве.

Такое описание технического объекта можно назвать описанием "по методу всплывающих списков опасных параметров". Оно, как видно из изложенного, просто алгоритмизируется, а потому представляется необходимым основным элементом машинного анализа технического состояния сложных технических устройств. Этот метод позволяет на основе достаточно простой программы дать внутренне связанную картину запасов работоспособности сложного технического объекта в условиях наличия случайных ошибок контроля. По нашему мнению, он может служить одной из

компонент интеллектуальной машинной системы анализа технического состояния сложных объектов.

Вместе с тем, список опасных по вероятности параметров сам по себе представляется ценным результатом обследования.

Не менее содержательным является случай, когда принимаются требования к точности, взвешенные по среднеквадратичным ошибкам. Но в силу громоздкости этого вопроса его рассмотрение выходит за рамки данной статьи.

Выводы

1. Для повышения уровня эксплуатации электрооборудования электростанций одним из наиболее универсальных путей является внедрение интеллектуальных систем электронного контроля технического состояния. И хотя в настоящее время ясны лишь контуры таких систем, представляется, что магистральное направление в этом занимает внедрение управляемых банков данных, оснащенных средствами их обработки, экспорта и создания условий для привлечения широкого круга специалистов с проведением компьютерных дискуссий.

2. Наряду с разрабатываемыми за рубежом и в нашей стране методами оценки состояния на основе теории нечетких множеств представляются полезными для практических задач методы, основанные на учете вероятностных свойств контроля параметров состояния. От них отказаться невозможно, они не противоречат методам нечеткой логики, и вместе с тем, дают возможность выявить внутренние свойства технических объектов, определяющие их динамику приближения к выходу из работоспособного состояния.

3. Разработанная в МЭИ на кафедре электрических станций первая очередь системы, представленная в данной статье, уже на первых этапах реализации позволяет существенно повысить удобство ведения контроля технического состояния электрооборудования и принятия решения по переводу его из одного вида эксплуатации в другой.

Список литературы

1. Клейтон Р. LOTUS NOTES 5. СПб.: Изд-во "Питер", 2000.
2. Крайсл Б. LOTUS NOTES 5. Включая Domino. Минск: Изд-во ПОПУРИ, 1998.
3. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.
4. Мудров В. И., Кушко В. Л. Методы обработки измерений. М.: Советское радио, 1976.
5. Васин В. П. Актуальные вопросы эксплуатации электрических станций. М.: Изд-во МЭИ, 2003.