

УДК 621.31

ВАСЮЧЕНКО П. В., кандидат педагогических наук, доцент кафедры электроэнергетики Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ

В статье рассмотрены вопросы повышения надежности работы электрооборудования путем применения различных методов диагностики. Раскрыты особенности повышения надежности работы электрических сетей. Определены основные проблемы в диагностике силового электрооборудования и намечены пути решения данных вопросов.

Ключевые слова: электрооборудование, надежность работы электрооборудования, методы диагностики электрооборудования, испытания электрооборудования.

У статті розглянуто питання підвищення надійності роботи електрообладнання шляхом застосування різних методів діагностики. Розкрито особливості підвищення надійності роботи електричних мереж. Визначено основні проблеми в діагностиці силового електрообладнання та намічені шляхи вирішення даних питань.

Ключові слова: електрообладнання, надійність роботи електрообладнання, методи діагностики електрообладнання, випробування електрообладнання.

Введение

Надежность современных систем производства и распределения электроэнергии в значительной мере определяется надежностью электрооборудования. Аварийные повреждения, часто сопровождающиеся разрушением оборудования, приводят к нарушениям электроснабжения и большому экономическому ущербу в энергосистеме и у потребителей. Особенно значительны потери от отказов оборудования высших классов напряжения, имеющего большую единичную мощность.

Поддержание необходимой степени надежности оборудования в процессе его эксплуатации обеспечивается системой технического обслуживания и ремонтов. Традиционно эта система базируется на периодическом проведении плановых профилактических работ и является системой обслуживания по времени наработки. Применительно к устройствам высокого напряжения такая система не является оптимальной, ибо приводит к неоправданным отключениям работоспособного оборудования.

Напряженные графики работы электрических сетей и отсутствие достаточных резервов приводят к необходимости увеличения межремонтных периодов, что при существующей системе технического обслуживания ведет к снижению уровня надежности основного оборудования.

Большие резервы повышения эффективности эксплуатации оборудования высокого напряжения заключены в переходе на техническое обслуживание по реальной потребности. При этом необходимость в обслуживании и ремонте определяется исходя из действительного состояния оборудования.

Переход к обслуживанию оборудования по потребности невозможен без использования надежных методов выявления и оценки его текущего технического состояния. Это и определяет необходимость развития системы технической диагностики.

Необходимость совершенствования системы и методов эксплуатационного контроля электрооборудования определяется также их недостаточной эффективностью. Традиционные методы испытаний разработаны давно и направлены на выявление дефектов, которые, как правило, уже не определяют надежность современного оборудования высокого напряжения. Периодичность испытаний не согласована со скоростью развития дефектов. Все это существенно снижает вероятность своевременного выявления развивающихся повреждений и возможность прогнозирования отказов.

Основная часть

Развитие основных областей науки и техники, определяющих технический прогресс, в настоящее время немыслимо без решения вопросов и расчетов надежности элементов и систем, входящих в комплексные функциональные устройства. Это послужило мощным стимулом развития общей теории надежности, выявлению и определению основных критериев и характеристик надежности, таких как функция надежности и отказа, среднего времени безотказной работы, интенсивности отказа и других [1].

Основной задачей теории надежности является разработка и изучение методов обеспечения эффективности работы различных объектов в процессе их эксплуатации, а также в определении и изучении количественных характеристик надежности и их связи с показателями экономичности. Существуют два направления повышения надежности: повышение надежности элементов, из которых состоит рассматриваемый объект, и создание объекта с высокой степенью надежности из относительно ненадежных элементов, используя различные виды резервирования. Максимального эффекта в повышении надежности, очевидно, можно добиться рациональным сочетанием этих двух направлений [2].

Понятие «надежность» широко используется во всех сферах деятельности человека (наука, техника, медицина и т. д.), что и определяет широту его толкования. Практическое решение многих задач, а иногда и выяснение их сути, оказывается совершенно невозможным без четкого установления некоторых понятий и соотношений между ними, выделения определенных свойств и их количественного описания. Поэтому изучение надежности целесообразно начать с рассмотрения понятий и характеристик надежности, которые используются в решении задач, возникающих при создании и эксплуатации искусственных технических систем вообще и электроэнергетических в частности.

Надежность оборудования определяется его конструкцией и качеством изготовления. Однако в ходе эксплуатации из-за процессов старения материалов и внешних воздействий надежность оборудования снижается. Создание электрооборудования, показатели надежности которого за весь период эксплуатации не станут ниже допустимых, – задача достаточно трудная и в значительном числе случаев экономически нецелесообразная. Поэтому в ходе эксплуатации оборудования необходимо проведение работ по поддержанию требуемого технического состояния.

Различают несколько основных видов технического состояния: исправность и неисправность, работоспособность и неработоспособность, правильное и неправильное функционирование. Исправным является объект, полностью отвечающий всем техническим требованиям. Работоспособным является объект, у которого техническим требованиям соответствуют лишь свойства, характеризующие способность выполнения заданных функций. Несоответствие между реальными и требуемыми свойствами объекта является дефектом. При возникновении дефекта исправный объект становится неисправным; при этом возможны два состояния – работоспособное и неработоспособное. Переход в работоспособное состояние называется преждевременным; переход в неработоспособное – отказом.

В условиях эксплуатации необходимо обеспечивать как минимум работоспособное состояние. Это возлагается на систему технического обслуживания (ТО) и ремонтов. Основное содержание ТО – контроль за состоянием оборудования и собственно обслуживание, поддержание исправности или работоспособности (чистка, смазка, регулировка и т. п.). Задача ремонта – восстановление исправности или работоспособности.

Исследование технического состояния оборудования является предметом технической диагностики, цель которой – изучение проявлений (признаков) различных технических состояний, разработка методов их определения, а также принципов построения и использования систем диагностирования.

Методами диагностики производится разбиение (классификация) всей совокупности объектов на группы в соответствии с принятыми градациями состояния. Для рассматриваемых объектов установить один обобщенный показатель состояния нельзя.

Поэтому основной задачей диагностирования является своевременное обнаружение и поиск дефектов, т. е. определение их наличия, характера и местонахождения. Это производится путем соответствующих испытаний (элементарных проверок).

Алгоритм (правила) диагностирования, определяющий объем, последовательность и взаимосвязь испытаний объекта, устанавливается исходя из его диагностической модели. Модель строится на основании изучения конструкции оборудования данного типа и опыта его эксплуатации. При этом классифицируются выявленные и возможные дефекты, устанавливаются наблюдаемые признаки их появления и методы выявления этих признаков. Признаки дефектов, как правило, проявляются в изменениях наблюдаемых параметров (характеристик) объекта. Поэтому необходимо установление диагностических параметров и их количественной или качественной связи с наличием и степенью развития дефекта.

Значения диагностических параметров, определенные при испытаниях, характеризуют техническое состояние объекта в данный момент времени. Для отнесения объекта к соответствующей группе состояний необходимо установить предельные значения параметров; эти значения и являются признаками дефекта. При периодическом контроле необходимо также учитывать скорость развития дефекта, чтобы неработоспособное состояние не наступило ранее следующего контроля. Поэтому браковочное значение параметра обычно ниже предельного, устанавливаемого как граница работоспособности состояния объекта.

Диагностирование может быть функциональным (на объект поступают только рабочие воздействия) и тестовым (при подаче специальных воздействий). Соответственно строятся и средства диагностирования: для функционального диагностирования это в основном измерительные устройства; для тестового диагностирования, кроме того, необходим источник тестовых воздействий.

Механический перенос положений общей теории надежности на различные звенья электрических систем невозможен. Их необходимо уточнять и адаптировать в силу особенностей систем электроснабжения. К таким особенностям относятся [3]:

а) характер электроснабжения, учитывающий непрерывность и неразрывность процесса производства, передачи и потребления энергии;

б) многоцелевое использование электроэнергии при наличии категорий потребителей с различными требованиями к надежности и качеству электроэнергии;

в) пренебрежимо малая вероятность полного отказа систем, а также полного планового или unplanned ремонта их вследствие большого количества источников и потребителей, потенциальной режимной избыточности элементов;

г) сами элементы систем электроснабжения (под ними понимаются виды оборудования, аппараты и части сетей) представляют из себя достаточно сложные системы, состоящие из элементов, характеристики которых по надежности выявлены недостаточно и зависят от конструктивных особенностей, вида и качества материалов, сборки, условий работы и т. п.;

д) трудность получения статистических материалов испытаний, которые практически невозможно воспроизвести в лабораторных и заводских условиях из-за трудностей в создании реальных условий работы и длительности среднего времени безотказной работы исчисляемого годами, в течение которых элементы подвергаются профилактическим ремонтам и испытаниям, учесть влияние которых на характеристики надежности достаточно трудно.

Необходимо также иметь в виду, что взаимодействие между системой электроснабжения и внешней средой носит стохастический (вероятностный) характер и можно говорить лишь о некоторой вероятности достижения цели – передачи энергии потребителю в требуемом количестве в пределах допустимых показателей ее качества (напряжения, частоты и др.).

Надежность системы электроснабжения сама является одним из показателей качества системы. Но этот показатель существенным образом отличается, например, от показателей качества системы по энергии, так как если система не обладает необходимой степенью

надежности, то все остальные показатели качества теряют свое практическое значение, поскольку они не могут быть полноценно использованы в эксплуатации.

В значительной степени повысить надежность работы систем электроснабжения, надежность работы отдельных элементов можно за счет диагностики электрооборудования электрической сети, снижения случаев аварийного отключения электрических сетей, своевременной замены оборудования, проведения плановых ремонтов и осуществления качественного обслуживания.

В практике контроля технического состояния объектов электроэнергетики, широко используются такие понятия, как экспертиза, диагностика, мониторинг, тренд и испытания. Каждое из понятий строго не определено и часто трактуется по-разному [2, 3].

Поэтому, для конкретизации вкладываемого смысла этих понятий, необходимо привести общепринятые определения перечисленных видов контроля силового электрооборудования.

Испытания. Под испытаниями понимается совокупность измерений, в течение ограниченного времени, с целью, определения величин определенных параметров объекта. Предельные значения параметров объектов электроэнергетики в основном нормированы и перечислены в нормативных документах, либо в инструкциях заводов изготовителей. Результаты испытаний не предполагают, аналитических исследований и являются контрольными величинами. К числу таких параметров относятся:

- сопротивление изоляции;
- ток утечки;
- тангенс угла диэлектрических потерь;
- омическое сопротивление цепей;
- уровень вибраций;
- параметры схем замещения электрических машин и т.д.

В пределах паспортного ресурса эксплуатации контроль параметров объектов по результатам испытаний, как правило, достаточен. Вместе с тем, испытания не позволяют определить динамику развивающихся дефектов, которые на момент испытаний пока не оказывают существенного влияния на работоспособность объектов электроэнергетики.

Тренд. Тренд, это периодический контроль величин параметров объектов, например посредством производства испытаний. Наличие тренда позволяет выполнить анализ путем сравнения последовательных результатов измерений. Таким образом, с помощью тренда реализуется дискретный контроль динамики процессов в объектах электроэнергетики.

Тренд узаконен нормативными документами путем нормирования периодичности производства испытаний. Недостатком тренда по результатам испытаний является невозможность проследить изменение параметров внутри временного интервала между испытаниями. Поэтому аварийные ситуации при этом методе контроля не исключены.

Мониторинг. Мониторинг, это непрерывный или дискретно-непрерывный контроль технического состояния объектов. Мониторинг предполагает наличие стационарной системы контроля. Технически мониторинг реализуется с помощью стационарных средств измерения, телемеханических линий и центра сбора и анализа информации. Все средства мониторинга требуют систематического контроля и технического обслуживания. При отсутствии телемеханических линий мониторинг становится трендом, но более дорогим в сравнении с ним. Мониторинг возможен, при наличии у предприятия специалистов способных выполнять анализ результатов измерений.

В большинстве случаев, из-за отсутствия специалистов по анализу результатов измерений, средствами мониторинга осуществляется только контроль предельных значений параметров. При этом возможны два вида систем: индикаторный и релейный.

Индикаторные системы сигнализируют центру сбора и анализа информации о превышении тех или иных значений контролируемых параметров. Релейные системы сигнализируют и выполняют ряд коммутационных функций. В том и другом случае при

срабатывании системы необходимо привлечение специалистов для анализа возникшей нештатной ситуации.

Широкие теоретические возможности мониторинга, по определению, создают ложное представление об его реальных возможностях. Мониторинг воспринимается как система, которая без участия человека «может все». Реально таких систем пока не существует, за исключением ряда узкоспециализированных и дорогостоящих систем.

Применение таких систем технически и экономически обосновано только на особо ответственных объектах.

Диагностика. Диагностика, это разовое или периодическое обследование технического состояния объектов энергетики (тренд). Известно, что развитие дефектов (проблемных мест) до факта аварии в электрооборудовании во времени происходит достаточно медленно. Это время может составлять от нескольких месяцев до нескольких лет. Поэтому в большинстве случаев необходимости в мониторинге нет.

В отличие от перечисленных методов контроля, диагностика является наукоемкой технологией. Для ее реализации необходима интеллектуальная дорогостоящая аппаратура и специалисты высокого уровня, как правило, имеющие ученые степени. Поэтому реально диагностика возможна только силами специализированных предприятий. Диагностика выполняется не разрушающими методами контроля и позволяет оценить техническое состояние объектов по совокупности параметров, определить динамику развития процессов, остаточный ресурс работы с имеющимися дефектами. Тренд на основании результатов диагностики исключает аварийные ситуации в период между диагностическими исследованиями.

Из-за высокой стоимости диагностической аппаратуры диагностика осуществляется, как правило, с помощью мобильных лабораторий. При наличии на предприятиях собственного диагностического оборудования и отсутствии необходимых для этого специалистов возможно сотрудничество с аналитическими подразделениями сторонних специализированных предприятий. Недостатком диагностики является в основном отсутствие утвержденных общероссийских нормативных документов. Сама по себе диагностика является достаточно новым научно-техническим направлением и потому находится в стадии развития. Несомненно, как инновационное направление, диагностика это будущее контроля технического состояния объектов электроэнергетики.

Экспертиза. Казалось бы, нет необходимости давать определение понятию экспертиза. Однако это не так. Программное и математическое обеспечение диагностической аппаратуры условно можно разделить на два уровня. Первым из них реализуется сам метод, например метод частичных разрядов, метод возвратного напряжения и т. д. В зависимости от степени реализации аппаратура может быть индикаторной, релейной или измерительной. Измерительная аппаратура позволяет не только измерять тот или иной параметр, но и нормировать измеряемые величины по степени опасности дефектов в объекте. Такая аппаратура стоит дорого и часто имеет уникальные технические возможности.

Второй уровень программного и математического обеспечения предназначен для анализа получаемых результатов, поэтому имеет критерии оценки, базу данных, алгоритмы анализа. Алгоритмы анализа часто многофакториальные, наукоемкие и являются результатами научных работ. Тем не менее, без участия специалистов высокого уровня такая аппаратура не способна автоматически «сделать» правильное заключение о техническом состоянии объекта. Поэтому эти специалисты называются экспертами, а выполняемая ими работа экспертизой.

Сегодня существует достаточно много различных обучающих фирм, которые после некоторого курса обучения выдают специалистам документы на право ведения экспертных работ. Но эксперты ли это? Не секрет, что в стране пруд пруди инженеров с дипломами. И в тоже время все предприятия и фирмы испытывают острый недостаток настоящих инженеров. И таких специалистов в стране единицы.

Характерной особенностью состояния основных фондов электроэнергетики в настоящее

время является большое количество силового оборудования с исчерпанным нормативным ресурсом эксплуатации. В среднем это оборудование составляет (60–80) %. Вместе с тем, действительное техническое состояние оборудования, его физический износ и остаточный ресурс эксплуатации в основном не определены. Поэтому имеющееся сегодня мнение о большом физическом износе силового электрооборудования являются, по крайней мере, не обоснованным. Обновление основных фондов электроэнергетики, как правило, не превышает (3–5) % в год. Совершенно очевидно, что замена такого количества электрооборудования с исчерпанным ресурсом эксплуатации на новое оборудование в короткие сроки экономически и технически является невыполнимой задачей.

Кроме того, обновление основных фондов электроэнергетики, как показывает практика, вовсе не гарантирует решение проблемы по причине отсутствия эффективной системы по контролю качества монтажа вновь вводимых таких объектов и часто из-за низкого качества комплектующих или работ по монтажу. При этом следует иметь в виду, что нормативный ресурс эксплуатации в основном вдвое меньше, чем проектный ресурс, определенный разработчиком того или иного вида силового электрооборудования. Так, например, нормативный ресурс эксплуатации кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией 25 лет, а проектный ресурс 50 лет. Это обстоятельство является основанием для выполнения экспертизы оборудования на предмет продления дальнейшего его срока службы с последующим параллельным плановым перевооружением электроэнергетики.

Методы контроля технического состояния объектов силовой энергетики делятся на контроль по предельным значениям параметров, определяемым ПТЭ, инструкциями, нормативами и контроль по текущим значениям параметров, на основании, которого выполняется диагностика технического состояния, прогнозирование остаточного ресурса, определение степени опасности дефектов и выработка экспертного заключения. Контроль по предельным значениям параметров не позволяет оценить качество текущего технического состояние объектов, а также динамику развития дефектов, но чаще всего используется в системах защиты и мониторинга. Динамику процесса развития дефектов и качество технического состояния можно определить только диагностическими методами.

Диагностика является многофакторной задачей. Учитывая большое количество объектов энергетики с исчерпанным нормативным ресурсом, применение методов контроля по предельным значениям часто становится не допустимым.

Совершенно очевидно, что перечень типовых испытаний и нормативов аккумулировали в себе многолетний опыт и знания специалистов высокого класса. Но эти знания рассчитаны на грамотных энергетиков предприятий и не являются догмой, лишь руководством к действию. Не секрет, что уровень подготовки, знаний и опыта энергетиков большинства предприятий желает лучшего. Поэтому большинство из них придерживаются, образно говоря, буквы закона, т.е. имеющихся нормативных документов. Это обстоятельство создает серьезные затруднения в работе специалистов диагностов. Вместе с тем, опираясь на утвержденные нормативные документы, эти энергетики с легкостью подвергают испытаниям повышенным напряжением изоляцию электрооборудования с исчерпанным ресурсом эксплуатации, либо требуют проведение всего комплекса испытаний перечисленного в нормативных документах, отрицая новые достижения в диагностике.

Следует отметить, что к числу основных проблем в диагностике силового электрооборудования следует отнести:

- отсутствие утвержденных на законодательном уровне технологий, нормативов и стандартов для диагностики объектов электроэнергетики;
- низкий уровень квалификации инженеров-энергетиков, эксплуатирующих силовое электрооборудование;
- отсутствие аналитических методик и программного обеспечения для анализа результатов диагностики;
- слабое метрологическое обеспечение диагностической аппаратуры.

К числу дополнительных проблем относятся отсутствие по регионам метрологических

квалифицированных предприятий, способных выполнять поверку и ремонт диагностической аппаратуры, включая аппаратуру зарубежного производства.

Возможность оценки остаточного ресурса рассматривается большинством авторов с использованием методов математической статистики [4].

Если обратиться к экспериментальным данным распределения плотности отказов высоковольтного оборудования, то нетрудно увидеть, что функции распределения времени отказов (или срок службы) высоковольтного оборудования не обладают статистической устойчивостью и однородностью. Плотности распределения времени отказов и функции отказов $f(\tau)$ показывают, что они не являются отражением одной генеральной совокупности явлений и их использование приводит к низкой надежности определения остаточного ресурса.

В этих случаях используют вероятностно-статистические модели [4].

Основываясь на результатах экспериментальных исследований, функция старения, износа (стойкости к отказу) оборудования представляется в виде

$$A(t) = At = A[1 - (t/t_{pec})^a] \tag{1}$$

где t_{pec} – ресурс объекта;

a – показатель отношения текущего времени к ресурсу объекта.

Образование дефекта в момент $t_{деф}$ приводит к уменьшению стойкости к отказу, что выразится в снижении значения A_t на ΔA .

Тогда эту функцию можно представить в следующем виде: в интервале от $t = 0$ до $t_{деф}$.

$$A_t = A[1 - (t/t_{pec})^a],$$

в интервале от $t = t_{деф}$ до t'_{pec} .

$$A(t) = A[1 - (t'_{pec}/t_{pec})^a] - \Delta A. \tag{2}$$

При образовании дефекта, который не устраняется при дальнейшей эксплуатации, старение и стойкость к отказу будут показаны другой зависимостью [4], у которой показатель a будет иметь значение, зависящее от степени опасности дефекта. Момент t_{pec} соответствует отказу объекта, т. е. $t'_{pec} = t_{отказ}$, следовательно, обращаясь к упомянутой выше зависимости, получим

$$A_t = A[1 - (t_{отказ}/t_{pec})^a] - \Delta A = 0 \tag{3}$$

или при $A_t = 0$

$$t_{отказ} = t_{pec} - \sqrt[a]{1 - \Delta A}. \tag{4}$$

Тогда остаточный ресурс Δt_{pec} будет равен

$$\Delta t_{pec} = t_{pec} - \sqrt[a]{1 - \Delta A} - t_{деф}. \tag{5}$$

Здесь остаточный ресурс определяется как детерминистская функция. Но в действительности функция стойкости к отказу (или износа) имеет вероятностный характер. Если известен закон распределения отказов (или старения) контролируемого оборудования, то с учетом целого комплекса допущений оценивается вероятность появления случайного отказа, используя математический аппарат статистики. В то же время экспериментальные зависимости функций распределения отказов $f(t)$ высоковольтного оборудования свидетельствуют о сложных функциях отказов, показывающих несколько разнородных процессов «старения», что не позволяет применить методы классической статистики для получения параметров распределений и определения критериев надежности.

Рассмотренный принцип оценки остаточного ресурса возможно реализовать при соответствующем обосновании значений ΔA каждого вида дефекта, вызываемого различными физическими процессами. Значение ΔA является достаточно сложной функцией вида дефекта и степени опасности K_d развивающегося дефекта. Значение ΔA зависит также от вида контролируемого объекта. Эти значения определены экспертным путем на первоначальной стадии применения метода и уточняются на основании результатов анализа

физических процессов, вызывающих образование дефектов. При этом анализе статистические методы определения вероятности перехода дефекта в отказ могут оказаться весьма эффективными.

Следует отметить, что модель: анализа преобразования параметров $f(X_{кр}, X_{изм})$; технического состояния $f(x_{кр})$; динамических характеристик и развивающихся дефектов $f(X)$; остаточного ресурса $\tau(x)$ является частью системы диагностирования, выполняющая все действия в режиме мониторинга диагностических параметров x_i . В связи с этим решение задач в моделях должно производиться в каждом цикле измерений $X_{изм}$, и реализация такой системы диагностирования будет происходить при интенсивном использовании компьютеров с соответствующим программным обеспечением.

В итоге, анализируя представленные распределения, отметим, что существует тенденция увеличения отказов от увеличения класса изоляции оборудования. Большая доля выявленных неисправностей и дефектов относится, прежде всего, к вводимому в эксплуатацию оборудованию нового типа.

Выводы

1. Повышение надежности работы электрических сетей – является серьезным технико-экономическим фактором, влияющим на эффективность работы энергетической системы.

2. Значительно повысить надежность работы электрических сетей, технико-экономические показатели работы энергетической системы, возможно путем комплексной диагностики электрооборудования, внедрения энергоэффективных способов мониторинга.

Список литературы

1. Волков Н. Г. Надежность функционирования систем электроснабжения. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 157 с.

2. Фокин Ю. А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. – М.: Высш. школа, 1989. – 151 с.

3. Чичёв С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И. Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 140 с. – 400 экз.

4. Ситников В. Ф., Скопинцев В. А. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации // Электричество. – 2007. – № 11.

IMPROVEMENT OF THE RELIABILITY OF ELECTRICAL EQUIPMENT BY APPLYING DIAGNOSTIC METHODS

VASYUCHENKO P. V., Candidate of Pedagogik, associate Professor

This paper addresses the issues of improving reliability of electrical equipment by applying various diagnostic methods. It features the specifics of improving the reliability of electric networks. It defines key problems of diagnostics of power supply equipment and directs the ways to solve these problems

Key words: *electrical equipment, electrical equipment operation reliability, electrical equipment diagnostic methods, electrical equipment tests.*

References

1. Volkov N. Reliability of power supply systems [Nadegnost funkcionirovaniya system elektrosnabgeniya]. The tutorial. –Tomsk: Izd-vo TPU, 2005. – 157 p.

2. Fokin Yu. A. Reliability and efficiency of the networks of electric systems [Nadegnost i effektivnost setey elektricheskikh sistem]. – M: The High. school, 1989. – 151 p.

3. Chichev SR, Ms. V. Kalinin, Blinkin H. the System of control and management of electronic strategydesk equipment of substations [Sistema kontrolya i upravleniya elektrotehniheskim oborudovaniem podstancii]. – M: Publishing house "Spectrum", 2011. 140 p. – 400 copies.

4. Sitnikov V. F., Skopintsev V. A. Probabilistic-statistical approach to the assessment resources power grid equipment during operation [Veroyatnostno-statisticheskiiy podhod k ochenki resursov elektrosetevogo oborudovaniya v processe ekspluatacii] // Electricity. – 2007. – № 11.

Поступила в редакцию 20.03 2014 г.