

О ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ И ВЫШЕ

Инженеры АЛЕКСАНДРОВ В. Н., КАТРАЧ В. И.,
кандидаты техн. наук СЕВРУК З. Б., НОРЕЙКО М. М.

Концерн «Белэнерго», ПО «Минскэнерго», НИГП «БелТЭИ»

Состояние технической диагностики воздушных линий электропередачи (ВЛ) 35 кВ и выше. Отсутствие в электрических сетях современных технических и программно-технических средств для проведения комплексного диагностирования механических и электрических характеристик прочности элементов ВЛ зачастую является причиной unplanned и автоматических отключений, а также аварий. При этом трудозатраты персонала энергосистемы на формирование необходимых сведений о техническом состоянии ВЛ достаточно велики, а качество собираемой информации остается невысоким.

Структурно диагностические методы и программно-технические комплексы (ПТК) можно условно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

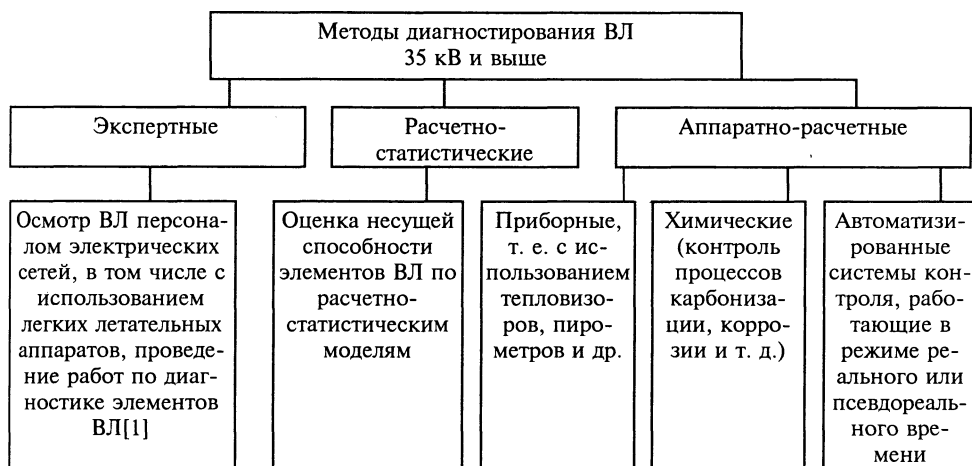


Рис. 1. Структурная схема методов технического диагностирования ВЛ 35 кВ и выше

Первая группа методов (рис. 1) — экспертная реализуется регламентированными работами по диагностированию и основана на сопоставлении визуально обнаруженных дефектов и измеренных величин, характеризующих техническое состояние элементов ВЛ, с их предельными значениями в соответствии с действующей инструкцией по эксплуатации ВЛ 35—800 кВ [1]. Результатом является заключение о пригодности к дальнейшей эксплуатации конкретного элемента ВЛ без проверки реально действующих динамических и статических нагрузок в данном гололедно-ветровом регионе. Эффективность осмотров линий невысока, и прежде всего, по причине фактора субъективизма в работе специалиста, производящего диагностические работы. Осмотр ВЛ может выполняться с использованием легких летательных аппаратов (ЛЛА). Применение

цифровой видеосъемки во время полета и последующая программная обработка полученных данных позволяют определить ширину просеки, габариты до земли и пересекаемых объектов.

Основными приборами, находящимися в распоряжении специалиста службы ВЛ 35 кВ и выше структурной единицы Белорусской энергосистемы электрические сети (ЭС), при использовании данной группы методов являются:

оптический дальномер «Пеленг СД01» завода имени Вавилова для измерения расстояния до проводов и ширины просеки; изоляционная штанга фирмы «Шанс» для напряжений 10—330 кВ. Фирма ЕВРО Консалт [2] предлагает для белорусского пользователя лазерные теодолиты типа Impulse 100 и Impulse 200, предназначенные для измерения габаритов, длин пролетов, ширины просеки на расстоянии до 575 м с точностью до 5 см;

линейка, штангенциркуль, бинокли (в том числе со стабилизацией изображения);

приборы для измерения заземляющих устройств опор типа М-416, а также измерительные штанги для контроля целостности изоляторов гирлянды;

лупа Польди, молоток Кашкарова (в единичных экземплярах);

приборы для измерения величины тяжения в оттяжках типа МИ-6; для практического применения может использоваться метод «свободных колебаний» [3];

разработанные техническими специалистами электрических сетей приспособления для определения отклонения верха опор, гирлянд изоляторов от вертикали, ширины раскрытия трещин (щупы).

Расчетно-статистическая группа представляется методикой диагностики железобетонных опор типа СН-1, СН-2, СН-3, СН-220, разработанной кафедрой железобетона Белорусской государственной политехнической академии (БГПА), НИПИГП «Белэнергосетьпроект». Авторами установлена корреляционная зависимость между характером трещин конструкций опор и ее прочностными характеристиками. Специалист-диагност производит описание дефектов железобетонной стойки (трещины 1-го, 2-го или 3-го уровня, отклонение верха стойки от вертикали, размеры раковин и сколов и т. д.) с использованием инструментов диагностирования (лупа Польди, микроскоп Бринеля, молоток Кашкарова, линейка, щуп), рассчитывает статические и динамические нагрузки, действующие на опоры, и затем по разработанной НИПИГП «Белэнергосетьпроект» программе, включенной в автоматизированное рабочее место (АРМ) специалиста ВЛ (НИГП «БелТЭИ»), оценивает остаточную прочность стойки и момента трещинообразования.

Анализ погрешности свидетельствует, что ошибка проведенных расчетов не превышает 10 %.

Метод имеет недостаток, связанный с трудоемкостью процесса описания дефектов. Время, необходимое для сбора всей информации по одной стойке, составляет приблизительно 30—40 минут и без специального обучения пользование методикой крайне затруднительно.

Для исключения фактора субъективизма специалисты НИПИГП «Белэнергосетьпроект» рассматривают вопрос сканирования стенки стоек опор с последующим представлением цифровым форматом для программной обработки обнаруженных дефектов средствами ПЭВМ.

Аппаратно-расчетные методы диагностирования ВЛ представлены достаточно широко. Данную группу объединяют методы и приборы, по-

звляющие определять электрическую и механическую прочность ее элементов.

Для оценки остаточной прочности железобетонных опор используются:

ультразвуковой прибор «УК1401» и методика МПО «Спектр» (Москва), применяемые в системе Управления путей сообщения РФ и Министерства путей сообщения РБ [4];

ультразвуковой томограф «А1230» того же производителя;

приборы компьютерной термографии типа «Irtis 200», имеющие базы знаний по идентификации дефектов [5];

ультразвуковые приборы типа «Бетон-5» (АО «Мосэнерго» РФ).

Концерном «Белэнерго» в рамках инвестиционного фонда разрабатывается прибор для контроля целостности арматуры вибрированных железобетонных стоек, в основе которого лежит анализ магнитной проницаемости стержней. Испытания экспериментального образца прибора в Минских и Витебских ЭС показали его высокую чувствительность при наличии разрывов арматуры. Прибор имеет возможность записывать в цифровом формате информацию о состоянии арматуры по всей длине стойки как на этапе ее изготовления, так и в процессе эксплуатации.

Концерном «Белэнерго» совместно с ПО «Минскэнерго» подготовлен макетный образец прибора для диагностики железобетонных опор, позволяющий оценивать несущую способность железобетонных стоек по анализу частот их колебаний при воздействии нагрузок. Прибор представляет собой безынерционный датчик, фиксирующий частоты в трех измерениях в диапазоне от 0 до 100 Гц, сопряженный с блоком преобразования сигнала через параллельный интерфейс с ПЭВМ (рис. 2).

При возбуждении бетонной конструкции посторонним воздействием измеренной величины (например ударом молотка) или фактически действующей динамической нагрузкой производится запись частот колебаний в установленных местах стойки с последующим сравнением полученных измерений с их эталонными (собственными) значениями, просчитанными по специальным программам. Анализ результатов позволяет оценить остаточную прочность железобетонных конструкций.

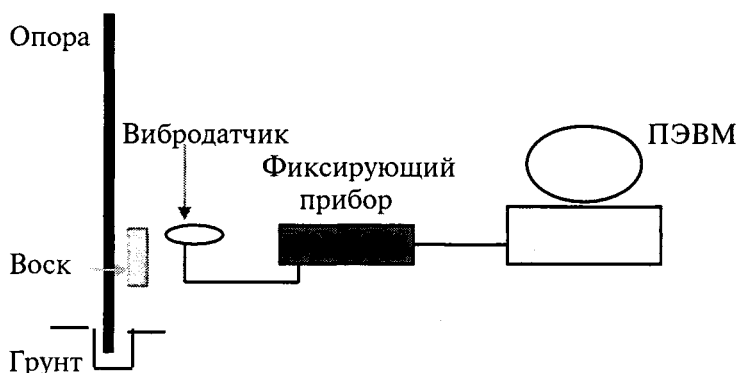


Рис. 2. Структурная схема прибора вибродиагностики железобетонных опор

В Германии для диагностики железобетонных конструкций применяют химические методы контроля за их техническим состоянием, основанные на регистрации процесса карбонизации и инфильтрации. Со-

бранная статистика и проведенные эксперименты в ПО «Витебскэнерго» немецкой фирмой «ВІВ», по мнению специалистов фирмы, дают полное описание технического состояния центрифугированных железобетонных опор. Методика диагностики, на наш взгляд, имеет следующие недостатки:

не учитываются фактически действующие нагрузки на ВЛ;

расшифровка полученных данных производится в лабораторных условиях;

процесс диагностирования трудоемок.

Опыт эксплуатации в Российской Федерации опор ВЛ 500 кВ с оттяжками показал, что анкерные конструкции оттяжек поддаются коррозии значительно быстрее, чем это представлялось на раннем этапе проведения их коррозионных исследований. Данная проблема была обозначена серьезной аварией, происшедшей 3.04.1990 г. на ВЛ 500 кВ Ермаковская ГРЭС — Иртышское — Омск [6] из-за коррозионного повреждения петли анкерной плиты при воздействии на нее токов утечки.

В этой связи НПП «Электрокорр» предложил метод диагностики опор, основанный на электрохимическом тесте. Вероятная опасность пропуска дефектного узла крепления составила 20 %. Новые правила технической эксплуатации (ПТЭ) Российской Федерации предусматривают обязательный осмотр U-образных болтов в местах повышенной влажности для ВЛ, отработавших определенный регламентированный срок.

В Белорусской энергосистеме около 8—10 тысяч опор имеют аналогичное крепление. Самая старая ВЛ 330 кВ Минск — Молодечно проработала более 35 лет. В этой связи методы технической диагностики данных узлов креплений анкерных плит приобретают в настоящее время актуальное значение.

Особое место в комплексном диагностировании ВЛ занимает метод, основанный на регистрации и анализе уровня электромагнитного излучения, создаваемого ВЛ при наличии на токоведущих элементах дефектов и недопустимом приближении проводов к кроне деревьев.

Структурно современная система диагностики ВЛ может быть представлена в виде следующих функциональных элементов (рис. 3):

системы глобального позиционирования — GPS (США), ГЛОНАСС (Россия);

персонального компьютера типа «Ноутбук» с программным обеспечением;

тепловизионных (термофотографических) приборов;

антенны, датчиков;

цифровой видеокамеры;

алфавитно-цифровых преобразователей, диагностического блока (система «Когона»);

программно-математического обеспечения для регистрации и анализа результатов измерений.



Рис. 3. Структурная схема диагностической системы ВЛ

Эти методы диагностики ВЛ реализуются:

швейцарской фирмой [7, 8] «Когона Messtechnik», являющейся наиболее известным в мире предприятием по оказанию услуг энергетическим компаниям более чем в 40 странах мира по диагностике ВЛ;

НИИ энергетики (Новосибирск) [9].

Система «Когона» состоит из двух блоков:

диагностического, включающего широкополосный вибратор (антенну) и записывающее устройство. На нем фиксируются помехи, создаваемые ВЛ в диапазоне частот от 1 кГц до нескольких МГц. Устройство имеет микрофонный вход для записи голоса оператора и выход на наушники, с помощью которых он может слышать создаваемый ВЛ шум. Во время полета оператор фиксирует вероятный дефект на слух по специфическому треску;

анализирующего, представляющего аналоговый осциллограф, на вход которого подается сигнал с аудиокассеты, записанный во время полета на диагностическом блоке. Данные об измерениях для наглядности представляются на экране осциллографа в виде фигуры Лиссажу. Наличие дефекта сопровождается определенным искривлением стандартной картинки в виде специфических «всплесков», по характеру которых оператор может судить о возможных дефектах на ВЛ.

С вероятностью до 95 % (по опыту эксплуатации) система позволяет выявлять следующие дефекты:

в изоляции — нулевые изоляторы, дефектную полимерную изоляцию (внутреннее расслоение полимерного стержня, отслоение внешней оболочки), изоляторы, перекрытые грозowymi перенапряжениями, загрязнение поверхности изоляции уносами химических производств и пометом птиц;

в арматуре — коррозию элементов изолирующей подвески, нарушение контактов проводов в болтовых соединителях, разрушение распорок между проводами в фазах, дефектные соединители (обрыв жил провода или троса);

на проводе — вспучивание провода типа «фонарь» или «баран», потертости провода в соединителях и зажимах, обрывы отдельных жил;

нарушение габаритов — приближение проводов ВЛ к деревьям на недопустимое расстояние.

При регистрации во время полета сигнала, свидетельствующего о возможном наличии дефекта, оператор должен рассмотреть его и за-

фиксировать на пленку фотоаппарата или видеокамеру. При невозможности однозначно определить дефект как во время полета, так и при работе на анализирующем устройстве к месту дефекта на ВЛ может выехать передвижная диагностическая лаборатория. С помощью телескопов и параболических антенн она повторяет и уточняет измерения для однозначного определения возможной неисправности. Если дефект не обнаружен, то за элементом ВЛ устанавливается особый контроль и в таких случаях меняется регламент контроля данного участка линии электропередачи. Как правило, возникший дефект выявляется позднее системой диагностики.

Специалисты фирмы «Korona Messtechnik» совершают облеты ВЛ на вертолетах типа Ecureuil Aerospaciale France, Lama Aerospaciale France, Gorgiie, Jet Ranga Bell USA и ряде других, имеющих очень высокую маневренность и надежность. Первостепенное внимание уделяется вопросам безопасности выполнения диагностических работ: тщательно анализируется трасса ВЛ, согласовывается маршрут движения, на карте масштаба 1:10000 или крупнее наносится маршрут полета для диагностики ВЛ и путь возвращения на базу. Для этой работы большие возможности предоставляют географические информационные системы (ГИС). В энергокомпании «Badenwerke Karlsruhe» используется ГИС фирмы Siemens «SiCad». Такая же система применяется в Московских кабельных сетях АО «Мосэнерго».

При дистанционном диагностировании ВЛ вертолет движется вдоль проводов со скоростью 30—35 км/ч. У опоры вертолет поднимается снизу вверх вдоль ее фаз. Все действия пилота фиксируются записью на магнитной пленке оператором системы.

Элементы линии осматриваются с двух сторон на расстоянии от 5 м на ВЛ 110 кВ и до 12 м от крайнего провода фазы ВЛ 380 кВ.

Прибор имеет отстройку от влияния напряженности электромагнитного поля ВЛ, находящихся в коридоре шириной 60 м. После окончания диагностики формируется диагностическая ведомость и приводится описание возможных дефектов ВЛ.

Компания «Korona Messtechnik» приступила к разработке нового варианта прибора, основанного на цифровом отображении сведений о состоянии ВЛ, вводе данных с системы JPS с возможностью анализа информации на ПЭВМ.

В последние годы в НИИ энергетики (Новосибирск) разработана и проходит опытно-промышленное опробование система, аналогичная системе «Korona» [9]. К функциональным блокам, представленным на рис. 3, добавлены видеокамера, тепловизионная аппаратура типа «Филин» (или зарубежных фирм Mikron, Avio и т. д.). Цифровой сигнал обрабатывается на ПЭВМ и сопоставляется с имеющейся базой данных по дефектам на ВЛ. Место дефекта элемента линии фиксируется на карте (возможно электронной) с использованием сигнала спутника.

По мнению швейцарских экспертов, методы типа «Korona» по поиску «скрытых дефектов» на токоведущих частях ВЛ и ОРУ по своей эффективности превосходят даже методы, основанные на использовании тепловизионной техники.

В Республике Беларусь и Белорусской энергосистеме накоплен определенный опыт по организации полетов при инспектировании инженерных сооружений (газо нефтепроводов, лесных массивов и т. д.) и ВЛ. Так, в Борисовских ЭС ПО «Минскэнерго» в течение нескольких лет с помощью самолета, изготовленного АО «Авиатика», производятся регулярные осмотры воздушных линий электропередачи напряжением 35—330 кВ общей протяженностью 1845 км, состояние охранных зон и инженерных сооружений, находящихся на балансе предприятия. По

оценке специалистов планово-экономического отдела Борисовских ЭС и Управления электрических сетей концерна «Белэнерго», даже без использования диагностического ПТК срок окупаемости самолета составляет примерно 2–2,5 года.

Необходимость управления передаваемой мощностью, контроля за габаритом при регистрации тяжения проводов, фиксации случаев вандализма на объектах электрических сетей, опосредованно отражающих экономические проблемы страны, способствует разработке систем контроля и управления работой ВЛ, работающих в режиме реального и псевдореального времени типа САТ-1 [10].

Коммерческие измерители натяжения провода устанавливаются на заземленной стороне гирлянды изоляторов и передают данные о натяжении проводов местному записывающему устройству. Информация о силе натяжения проводов накапливается в установленном на этой опоре микропроцессоре наряду с данными о температуре окружающей среды и величине солнечной радиации. Через определенные промежутки времени эта информация передается на центральный компьютер для последующей обработки.

Дополнительно может передаваться на диспетчерский пункт информация (разработка НИПИГП «Белэнергосетьпроект») о вероятном хищении элемента металлоконструкции. Установленные датчики реагируют на звуки пилы, гаечного ключа, стук зубила и молотка.

По данным зарубежной печати, стоимость одного комплекта системы слежения составляет около 50 тыс. дол. США, ущерб от отключения ВЛ 750 кВ ПС Белорусская—Смоленская АЭС за неделю — около 150 тыс. дол. США.

На сегодняшний день российская фирма ОПТЭН [11] предлагает три типа технологии диагностирования:

ручную технологию наземного обследования с определением координат опор по данным дифференциальной системы спутниковой глобальной навигации;

технологию, связанную с применением локаторов бокового обзора. Результатом обследования являются документы, отражающие текущий номер опоры, каталожное расстояние с точностью до единиц метров, углы поворота;

технологию лазерного сканирования с борта вертолета, позволяющую определять координаты опор с нанесением на цифровую карту, стрелы провеса, опасно растущие деревья, ширину просеки.

Результативность рассмотренных выше методов диагностики, их приборной поддержки можно представить в виде схемы (рис. 4).

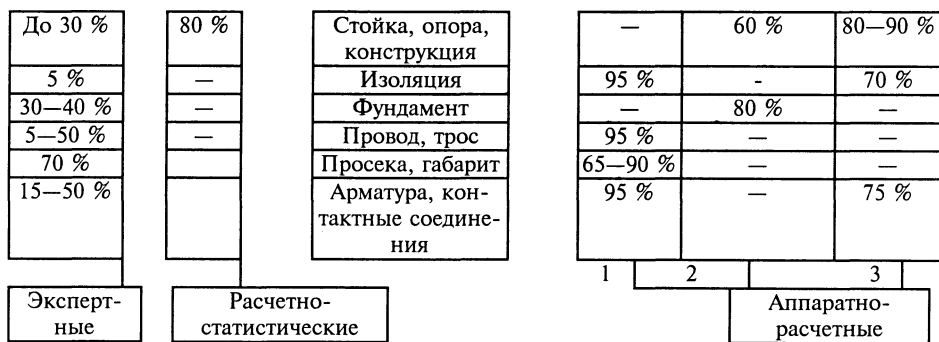


Рис. 4. Структурная схема эффективности методов диагностирования: 1 — методы типа «Когона», ОПТЭН и пр.; 2 — методы, основанные на химическом анализе; 3 — использование тепловизионной техники, анализ арматуры и т. д.

В качестве показателя, характеризующего эффективность диагностических методов, прием экспертную оценку вероятности обнаружения ими дефектов по основным элементам ВЛ. Оценки сделаны на основании результатов, приведенных в зарубежных и отечественных литературных источниках, а также экспертных данных специалистов Белорусской энергосистемы.

Основные направления совершенствования диагностирования ВЛ. Отказ от принципов эксплуатации ВЛ, заложенных в системе планово-предупредительных ремонтов, сформированной в 50-е гг. в том виде, в каком она существует в настоящее время, и переход к проведению ремонтных работ по ее техническому состоянию ставит во главу угла технического обслуживания электрических сетей систему диагностирования ВЛ, отвечающую следующим требованиям:

вероятность обнаружения дефектов должна быть не ниже 75—85 %;

техническое диагностирование ВЛ должно носить системный и комплексный характер;

должны формироваться рекомендации по конструктивному исполнению ВЛ и регламенту их технического обслуживания.

По мнению авторов, в организационно-техническом отношении система диагностирования должна содержать три уровня.

1 уровень. Осмотр и прочие диагностические работы [1] ВЛ 35 кВ и выше диагностической группой службы ВЛ ЭС, тщательно фиксирующей дефекты имеющимися техническими средствами. Оценка несущей способности опор, расчет габаритов, оценка технического состояния элементов ВЛ и самой ВЛ по существующим компьютерным программам.

2 уровень. Обследование специалистами группы диагностики службы электрических сетей производственных объединений (СЭС ПО) для уточнения сложных дефектов и расчетов по методикам и программам с использованием методов второй и третьей групп. На данном уровне рекомендуется производить обследование (осмотр) ВЛ с использованием ЛЛА.

3 уровень. Создание диагностической лаборатории при концерне «Белэнерго» или определенной им организации. Цель — полная и адекватная оценка технического состояния, прочностные расчеты элементов ВЛ. Характерной особенностью ее функционирования на данном уровне является полное выполнение всей номенклатуры диагностических работ. Результатом диагностики должны стать «Журнал неисправностей» установленной формы и «Акт готовности к эксплуатации», гарантирующий надежную работу ВЛ в течение требуемого промежутка времени.

Система диагностирования первого уровня должна включать в себя обязательный выходной и входной контроль оборудования и материалов. Каждое изделие (партия), поступающее в эксплуатацию, должно иметь свой паспорт (сертификат), в том числе и в электронном виде, с основными техническими характеристиками. Дополнительно к ГОСТу показателями контроля для железобетонных опор должны стать:

состояние арматуры (электронное сканирование);

фактическая прочность бетона;

твердость внутренней поверхности центрифугированных стоек.

Проведенный анализ с использованием методов статистического моделирования позволяет сформулировать следующий регламент проведения диагностических работ:

осмотры ВЛ специалистами службы ВЛ 35 кВ и выше должны проводиться не реже 1 раза в год [12], а ВЛ 750 кВ (расчетные данные) — 4 раза в год. Допустим осмотр ВЛ с использованием ЛЛА специалистами ЭС, прошедшими специальное обучение;

методы диагностики второй и частично третьей групп применяются по мере необходимости, а для системообразующих сетей (выборочно) — не реже 1 раза в 3 года;

методы диагностики третьей группы должны охватывать выборочные участки ВЛ 220 кВ и выше, срок эксплуатации которых более 35 лет, а также другие ВЛ по требованию. Периодичность диагностики определяется реальной обстановкой (уровень аварийности, возросшие объемы работ и т. д.), но не реже 1 раза в 6 лет.

Проведение диагностических работ потребует структурных изменений служб ВЛ ЭС, СЭС ПО в части создания диагностических групп, численный состав которых определяется из технологических карт на проведение работ, а также их планируемых объемов.

Создание диагностических лабораторий может исключить ряд регламентных работ, что потребует корректировку ныне действующих нормативных документов.

Особое внимание в настоящее время должно уделяться подготовке персонала. В программы учебных комбинатов необходимо ввести соответствующие курсы подготовки специалистов служб ВЛ ЭС по разработанным методикам и программам для ПЭВМ.

ВЫВОД

Внедрение рассмотренной системы диагностики электрических сетей в Белорусской энергосистеме при выполнении регламентных эксплуатационных работ позволит повысить уровень безопасности работ персонала, надежность электроснабжения потребителей, культуру и качество принимаемых решений при проведении ремонтных работ, сократить трудовые и материальные затраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35—800 кВ. — М.: ОРГРЭС, 1991. — 141 с.
2. Рекламные материалы фирмы EURO Consult GmbH.
3. Справочник по ремонту и техническому обслуживанию электрических сетей / Под ред. К. М. Антипова, И. Е. Бандуилова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 560 с.
4. Рекламные материалы МНПО «Спектр» (Москва).
5. Рекламные материалы фирмы «Иртис» (Москва).
6. Коррозийное состояние анкерных устройств опор ВЛ 500 кВ Западных электрических сетей Омскэнерго / А. Г. Тарасов, А. В. Харитин, В. И. Халецкий, В. И. Гизбрехт // Электрические станции. — 1996. — № 7. — С. 56—59.
7. Информационные материалы фирмы «Korona Messtechnik».
8. Повышение безопасности работ и эффективности эксплуатации электрических сетей в энергосистемах / З. Б. Севрук, В. В. Киселев, В. Н. Александров, В. И. Катрач // Охрана труда. — 1999. — № 4. — С. 9—12.
9. Дикой В. П., Овсянников А. Г. Электромагнитная инспекция воздушных линий электропередачи // Электрические станции. — 1999. — № 3.
10. Ризон Д. Контроль натяжения проводов линий электропередачи // Мировая электроэнергетика. — № 3. — С. 46—48.
11. Рекламные материалы фирмы ОПТЭН.
12. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей / Министерство энергетики и электрификации СССР. — 14-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 288 с.

Поступила 11.11.1999