

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР ЛЭП МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ RFID ТРАНСПОНДЕРОВ

NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WOODEN UTILITY POLES BY THE METHOD OF FREE OSCILLATIONS WITH THE USE OF RFID TRANSPONDERS

**S. Belalami
I. Limanov**

Summary. In this article the authors discuss the problem of field inspection of utility wooden poles (electricity posts). The authors also describe their new acoustic method of utility poles testing (measurement of pole natural frequencies) and how the implementation of RFID tags can improve this new non-destructive method.

Keywords: non-destructive testing, diagnosis, inspection, wooden poles, posts, overhead lines, natural frequencies, RFID, tags.

Белалами Салим

Инженер ООО «ЭТС», аспирант, Национальный
минерально-сырьевой университет (СПб)
belalamis@mail.ru

Лиманов Игорь Яковлевич

Генеральный директор ООО «ЭТС»

Аннотация. В статье рассматривается новый метод контроля качества деревянных опор воздушных линий электропередач (ЛЭП) — методом свободных колебаний (измерение частот собственных колебаний). Описан опыт применения RFID технологии для маркировки опор ЛЭП путем внедрения электронных чипов в тело деревянных опор, и ее роль в повышении эффективности применения неразрушающего контроля опор ЛЭП методом измерения частот собственных колебаний опоры. Приведены основные выводы и преимущества внедрения RFID технологии для электронной паспортизации опор ЛЭП.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, диагностика, осмотр, деревянные опоры, стойки, ЛЭП, частоты собственных колебаний, RFID, метки, транспондеры.

Внедрение и применение современных методов неразрушающего контроля играет сегодня решающую роль в обеспечении промышленной безопасности и надежности электроснабжения. Это особенно важно в условиях продолжающегося физического и морального износа оборудования на ЛЭП и отсутствия, в ряде случаев средств на его замену и реконструкцию. Системы контроля являются одним из основных факторов, определяющих техническое состояние основных объектов ЛЭП, а также возможность и сроки их дальнейшей эксплуатации. Деревянные и железобетонные опоры являются одним из самых важных компонентов линии электропередачи (ЛЭП). Правильное и своевременное использование системы контроля в процессе изготовления, монтажа, ремонта и эксплуатации опор ЛЭП, позволяет предотвратить аварии и внеплановые остановки, что особенно важно для опасных производственных объектов, так как аварии на них наносят большой вред здоровью и жизни людей, окружающей среде и приводят к значительному материальному и моральному ущербу.

В настоящее время диагностика опор проводится преимущественно визуальными и инвазивными (разрушающие методы контроля) способами. Существующие современные методы контроля (например, ультразвуковые и инвазивные дефектоскопы) позволяют оценить состояние опор только в одном сечении, при этом оценить

комплексно состояние всей конструкции невозможно. Для железобетонных конструкций ультразвуковыми методами можно оценить состояние либо материала опоры, либо арматуры, отдельно. Ультразвуковые методы нашли применение и для контроля состояния деревянных опор.

Нашей отечественной наукой был разработан метод неразрушающего контроля опор ЛЭП, в основе которого лежит принцип измерения частот собственных колебаний опоры, и создан уникальный прибор под названием ЛИС-У (Рис. 1), реализующий этот метод. При этом сама опора рассматривается как стержень с защемленным концом. Зависимость величины частот собственных колебаний опоры от ее размеров и ее физико-механических параметров можно описать следующим уравнением:

$$f_i = k_i \frac{D}{H^2} \cdot C$$

Где f_i — частота собственных колебаний определенного типа i ;

D — средний диаметр опоры;

H — высота опоры;

K_i — коэффициент, характеризующий номер оборота i в спектре колебаний;



Рис. 1. Прибор ЛИС-У

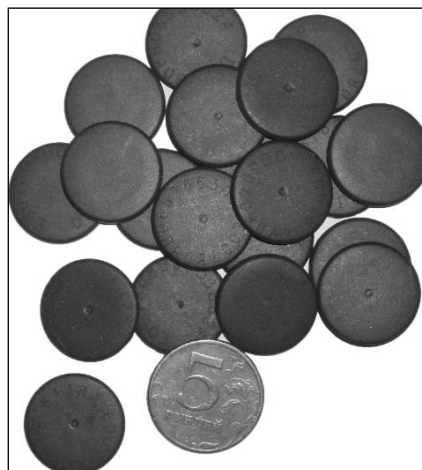


Рис. 2. Внешний вид RFID меток

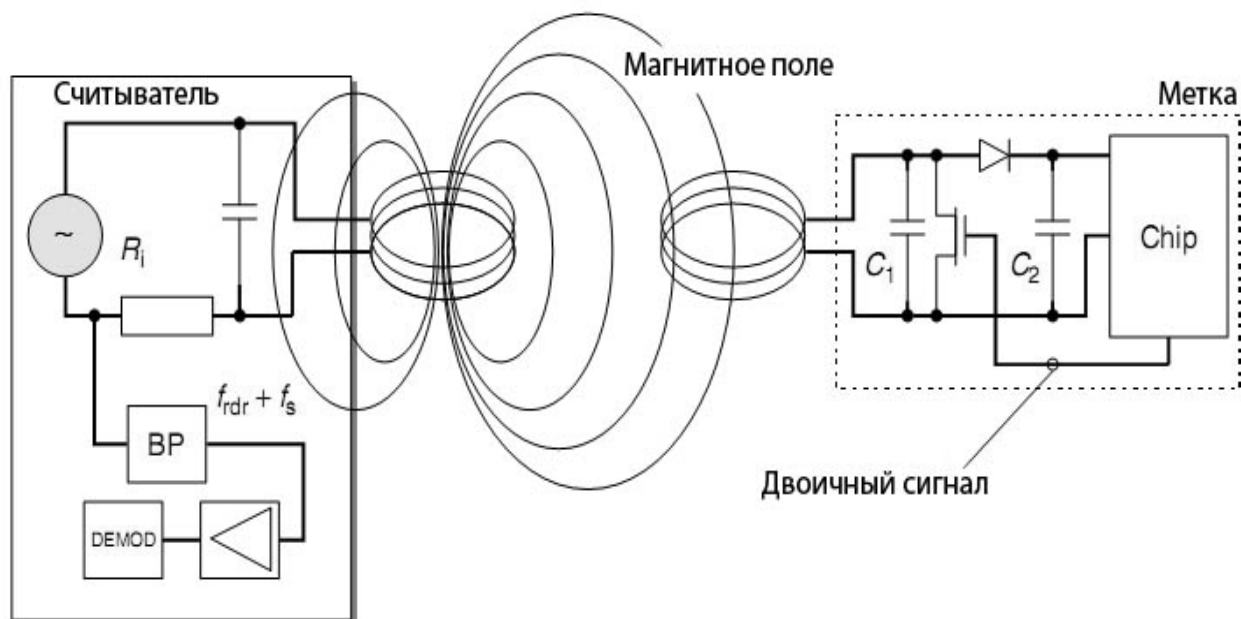


Рис. 3. Схема RFID контура (считыватель-метка)

$C = \sqrt{E/\rho}$ — скорость распространения звука в материале опоры (зависит от состояния древесины и наличия дефектов);

E — модуль упругости;

ρ — плотность.

Таким образом, при известных f , k_i , D и H можно определить величину C , которая в свою очередь коррелирует с прочностью опоры (с ее остаточным ресурсом).

Для контроля состояния деревянной опоры методом измерения частот собственных колебаний необходимо, сгенерировать в опоре колебания путём нанесения

механического удара по ее поверхности (обычной киянкой), с последующим приемом и анализом акустического отклика опоры с помощью специального портативного прибора. Перед началом процедуры контроля необходимо определить геометрические размеры опоры (диаметр и видимую высоту). Диаметр опоры на высоте 1 метра, в отличие от ее высоты, легко определить с помощью обычной измерительной рулетки. Точно определить высоту опоры можно только при наличии специальных лазерных и/или оптических инструментов. Данное обстоятельство, как правило, приводит к ошибке в определении высоты опоры, и это в свою очередь приводит к ошибочной оценке технического состояния опоры. Кроме того, последующее измерение высоты опоры различными инструментами, а также специалистами, имеющими разный уровень подготовки, создаст дополнительные ошибки, что в свою очередь повлияет на результат исследования. Следовательно, для определения динамики состояния опоры, правильнее было бы сохранить первоначально измеренные данные о её размерах. Для решения данной проблемы авторами статьи было предложено применение RFID меток (Рис. 2) в качестве «хранилища» технической информации об опоре. Так называемый паспорт опоры. Идея заключалась в оснащении каждой опоры RFID меткой, в которой записывается индивидуальная информация о данной опоре (ее размеры, год выпуска, завод-изготовитель и т.п.). При этом прибор неразрушающего контроля оснащается RFID антенной, которая позволяет считывать (и записывать) информацию с метки (на метку). Таким образом, полностью исключается вопрос измерения габаритов опоры, и связанные с ним сложности. При внедрении данной технологии были раскрыты и другие преимущества электронной паспортизации опор ЛЭП. В рамках данной статьи мы подробно расскажем об опыте внедрения данной технологии.

RFID (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) — это способ автоматической идентификации объектов, в котором считываются или записываются данные на специальном электронном носителе (транспондер, или RFID-метка) посредством радиосигнала (Рис. 3).

RFID-система состоит из считывающего устройства (RFID антенна) и транспондера (RFID-метка). По принципу действия RFID метки бывают двух типов — активные (имеют свой собственный источник питания) и пассивные (в них электрический ток генерируется бесконтактным способом с помощью антенны).

Технология радиочастотной идентификации (RFID) нашла широкое применение в самых важных аспектах современной жизни человека. Данная технология сегодня применяется в автомобилестроении, в системах



Рис. 4. Внедрение RFID метки в тело опоры

контроля и управления доступом (бесконтактные ключи, платные дороги дорожные и т.п.), в транспортной и складской логистике (для маркировки грузов), в медицине, в сельском хозяйстве («чипование» животных), и во многих других областях.

В июле 2011 года, в рамках проекта внедрения RFID технологии для контроля состояния опор ЛЭП, в посёлке Щеглово Всеволожского района Ленинградской области была произведена паспортизация опор части воздушной ЛЭП 04 кВ Пригородных электросетей ОАО «Ленэнерго».

Впервые в истории нашей энергетики в опоры воздушных линий (ВЛ) были вмонтированы электронные паспорта — RFID транспондеры. Технология внедрения метки в опору очень проста и занимает не более трёх минут. На высоте 1 метра от уровня земли в опоре, сверлится отверстие глубиной 10 мм, затем в образовавшуюся полость выдавливается немного монтажного клея — внутренняя герметизация отверстия, внедряется транспондер (рис. 4), отверстие заполняется клеем — наружная герметизация и ровняется шпателем. Отверстие, в котором установлен чип, ни коим образом, не ухудшает прочностные характеристики опоры. После этого, опора тестируется прибором ЛИС-У, полученные результаты записываются в память метки.

Бригада из 2 человек без особых усилий может в течение одного рабочего дня произвести паспортизацию с внедрением транспондера 40–50 опор, в зависимости от расстояния между опорами и рельефа местности. По окончании работ по проведению паспортизации и внедрению RFID меток в опоры, прибор ЛИС подключается на участке к компьютеру на рабочем месте, и все полученные в ходе паспортизации данные об опорах, программой ЛИС автоматически заносятся в Единую



Рис. 5. ВЧ метка

базу данных, создавая на каждую опору свой паспорт, который можно перенести на печатный носитель.

Теперь опора приобрела, наряду с имевшимся ранее нанесённым краской номером, и свой электронный паспорт, в котором хранится следующая информация:

- ◆ Данные о заводе-изготовителе;
- ◆ Дата и состав пропитки;
- ◆ Дата монтажа опоры;
- ◆ Географические координаты;
- ◆ Результаты периодического контроля технического состояния опоры (величина остаточного ресурса);
- ◆ Даты проведения контроля.

Внедрение чипов позволяет в интересах службы эксплуатации проводить оперативную диагностику состояния опоры за 1–2 минуты, а также определить динамику его изменения. Для этого электромонтёру достаточно подойти к опоре, прибором серии ЛИС сосчитать с метки ранее записанную информацию, произвести измерение, нанеся по опоре удар киянкой, и получить результат, который автоматически записывается и в память прибора, и в чип. Выбранный для решения данной задачи тип RFID-транспондера имеет герметичную пластиковую оболочку, имеющую степень защиты IP-68 и сохраняющую свою работоспособность в диапа-

зоне температур от -50 до $+50$ С. Данный транспондер не требует источников питания, поскольку является пассивным элементом, и начинает работу только после того, как, попадая в электромагнитное поле, созданное прибором, проходит кодовую идентификацию. Часть секторов, на которые разбита память транспондера, являются закрытыми и позволяют записать информацию только один раз. Это сделано для того, чтобы производители опор были уверены в обоснованности претензий, если таковые возникнут по качеству изделия. А также для сохранения координат и других постоянных параметров опоры, которые могли бы быть случайно изменены. Перезаписываемые сектора сохраняют все измерения, проводимые на опоре, и имеют такой объём памяти, что её вполне хватит на 50 лет ежемесячных проверок. Далее запись происходит «по кольцу». Стоимость транспондера при нынешнем курсе составляет приблизительно 65–75 руб. за штуку при розничной покупке. Конструктивно пассивный транспондер, как безоболочный, так и в оболочке, представляет собой две полоски фольги (два диска) с нанесённым на них ферромагнитным слоем, поэтому никакой ценности для вандалов не представляет. ВЧ транспондеры имеют электронную схему.

Производитель опор, внедряя в её тело чип, заявляет о высоком качестве своей продукции. Транспондер является своеобразной «визитной карточкой» предприятия и служит весь заявленный срок эксплуатации опоры, в отличие от металлического (пластмассового) ярлыка или маркировки, выполненной краской (железобетонные опоры). Таким образом, реализован один из вопросов о контроле качества выпускаемых опор, поднятый руководства ОАО «МРСК» на круглом столе, проходившем в сентябре 2010 года в рамках выставки IPNES-2010.

RFID транспондеры нашли широкое применение и на деревообрабатывающих заводах, и у западных энергетиков. В основном их применяют для оптимизации процессов хранения и транспортировки опор, но при этом они используют ВЧ-метки (Рис. 5), которые значительно дороже, более уязвимы (вандално-привлекательны) и требуют более энергоёмких приборов.

Основные преимущества применения RFID технологии в контроле состояния опор ВЛ заключаются в следующем:

1) Полностью исключается «обезличивание» опоры. Каждая опора теперь имеет свой электронный паспорт, в котором занесена информация о ее производителе и дате изготовления. До этого изготовители опор часто отказывались выполнять свои гарантийные обязательства под предлогом отсутствия маркировки.

2) Существенно упрощается процедура неразрушающего контроля. Теперь измерять высоту и диаметр опоры не нужно. Данная информация заносится в электронном паспорте опоры заводом-изготовителем.

3) Вся история и результаты периодического контроля хранятся в памяти RFID метки. Таким образом, можно отслеживать динамику изменения (ухудшения) состояния опоры непосредственно на месте (подключения к удаленной базе данных не требуется).

На этом полезный эффект применения RFID транспондеров не заканчивается. В интересах службы промышленной безопасности (ПБ) и охраны труда (ОТ), перед подъёмом на опору электромонтёр, подойдя к ней, считав с метки индикаторным прибором серии

ЛИС необходимую информацию и произведя измерение нанесением удара киянкой по опоре, получает рекомендации о возможности безопасного подъёма на неё или его запрете. Тем самым отпадает необходимость в проведении трудоёмких и затратных по времени работ по исследованию опоры другими методами.

Помимо внедрения RFID транспондеров в новые опоры также рекомендуется на местах определить целесообразность их внедрения в опоры старых ВЛ. Такие минимальные затраты в процессе эксплуатации линии окупятся сполна, помогая сохранить жизнь линейного персонала. Сокращение времени проведения диагностики опор позволит увеличить производительность её проведения и получить от опоры максимальный ресурс эксплуатации без перебраковки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолов И. К., Алешин Н. П., Потапов А. И. Акустические методы контроля — М.: Высш. школа, 1991
2. Акоп Саргсян. Строительная механика: Механика инженерных конструкций: Учебник для вузов — М.: Высшая школа, 2008
3. А.Г.Соколов. Опоры линии передачи — М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961
4. К.П.Крюков, Б. П. Новгородцев. Конструкции и механический расчет линий электропередачи — М.: Ленинград «Энергия», 1979
5. ГОСТ 17624–87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.

© Белалами Салим (belalamis@mail.ru), Лиманов Игорь Яковлевич. Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

