

# ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОВОДОВ И ГРОЗОТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Волоховский В.Ю., канд. техн. наук

Воронцов А.Н., канд. техн. наук

Сухоруков В.В., докт. техн. наук

Цуканов В.В.

Обсуждается опыт применения метода неразрушающего контроля –магнитной дефектоскопии – для диагностики технического состояния сталеалюминиевых проводов и стальных грозотросов ВЛ напряжением 35-500 кВ. Дается описание используемого оборудования и технологии выполнения работ. Приводятся результаты выполненной диагностики технического состояния и расчетной оценки остаточной несущей способности проводов и грозотросов на некоторых линиях электропередачи.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи; неразрушающий контроль; метод магнитной дефектоскопии; сталеалюминиевые провода и стальные грозотросы; техническое состояние; остаточная несущая способность

**И**нструментальные методы контроля технического состояния (ТС) токонесущих проводов и грозотросов являются одной из наиболее эффективных составляющих мероприятий, проводимых сетевыми компаниями с целью повышения эксплуатационной готовности ВЛ. Метеорологические и эксплуатационные факторы и нагрузки оказывают большое влияние на техническое состояние проводов/грозотросов ВЛ и на их расстояния до земли и пересекаемых объектов (ВЛ меньшего класса напряжений, сооружений, коммуникаций и т.п.). Это влияние выражается в таких факторах, как появление значительных остаточных деформаций от ветровой и ледовой нагрузки; деградация свойств алюминиевого повива проводов от длительного нагрева токами высокой эксплуатационной нагрузки или короткого замыкания (в чрезвычайной ситуации); появление местных усталостных повреждений, вызываемых вибрацией или пляской проводов; потеря площади поперечного сечения стального сердечника комбинированных проводов (типа АС) из-за абразивного и/или коррозионного износа и т.д.

*Experience in using non-destructive testing - magnetic flaw detection method for technical state diagnostics of steel-aluminum conductors and steel earth wires of 35-500 kV OHTL is discussed. Description of the equipment and control technology are presented. The results of technical state diagnostics and residual strength estimates of conductors and steel earth for some overhead transmission lines are given.*

**Ключевые слова:** overhead transmission lines; non-destructive testing; magnetic flaw detection method; steel-aluminum wire and steel ground wire; the technical state; the residual load-bearing capacity

Лазерная аэрофотосъемка при обследовании ВЛ позволяет определить пролеты, в которых расстояния от проводов/грозотросов до земли или пересекаемых объектов не отвечают требованиям нормативных документов. Перетяжка проводов/грозотросов является одним из самых разумных способов устранения неприемлемых зазоров и приведения габаритов ВЛ в соответствие с нормативными правилами. Уровень допустимой нагрузки для осуществления операций перетяжки определяется остаточной несущей способностью (прочностью) проводов/грозотросов. Прочность проводов/грозотросов линий с большим сроком эксплуатации (30-40 лет и более) может быть рассчитана с использованием результатов дефектоскопии этих объектов с помощью подходящих инструментальных средств.

В период с 2010 г. по настоящее время специалисты компании «ИНТРОН ПЛЮС» выполнили контроль ТС проводов типа АС и стальных грозотросов методом магнитной дефектоскопии более чем на 150 ВЛ. В ряде случаев выполненный контроль позволил

диагностировать наличие дефектов типа обрыва проволок и значительной потери сечения грозотросов и сердечников АС проводов. Ниже приводятся результаты некоторых работ по диагностике проводов/грозотросов, в том числе и расчетной оценки остаточной несущей способности объектов контроля, которые были учтены при разработке проектов реконструкции и ремонтно-востановительных мероприятий на проектированных ВЛ.

### Магнитная дефектоскопия проводов и грозотросов ВЛ. Методы и аппаратура

Для диагностики текущего ТС биметаллических проводов (типа АС, ГОСТ 839-80Е) и стальных грозотросов используют как визуальный (осмотр), так и инструментальные методы неразрушающего контроля (НК). Фрикционный износ или коррозия внутренних проволок и прядей грозотроса или стального сердечника провода не могут быть обнаружены осмотром. В то же время они приводят к потере сечения по металлу провода или грозотроса - важнейшей характеристики, определяющей его прочность. Потеря сечения по металлу (ПС) используется в нормативных документах как один из базовых критериев браковки наряду с количеством обрывов проволок на шаге свивки провода или троса.

В современной отечественной и зарубежной практике для диагностики сталеалюминиевых проводов и стальных грозотросов все чаще применяется магнитная дефектоскопия [1, 2]. Магнитная дефектоскопия выполняется методом переменного магнитного поля или методом постоянного магнитного поля с использованием датчиков Холла. Физические основы методов магнитной дефектоскопии хорошо известны [3]. Метод переменного магнитного поля эффективен только для измерения ПС ферромагнитного металла объектов контроля. Метод постоянного магнитного поля используют как для измерения ПС сечения проводов/тросов, так и для обнаружения локальных дефектов (ЛД) типа обрыва проволок.

Независимо от реализуемого метода и конструкции большинство типов магнитных дефектоскопов имеют два канала регистрации дефектов - каналы ПС и ЛД. Конструкция измерительной магнитной головки (МГ) магнитного дефектоскопа показана на рис. 1.

Компания «ИНТРОН ПЛЮС», а также ряд других отечественных и зарубежных организаций при выполнении работ по контролю ТС стальных грозотросов и сердечника проводов типа АС на ВЛ напряжением 35-500 кВ используют магнитный дефектоскоп ИНТРОС (Патент RU № 2204128).

Конструкция и комплектация дефектоскопа ИНТРОС, его функциональные возможности и опыт применения для контроля стальных канатов различного применения отражен в публикациях [4]. На рис. 2 приведены внешний вид измерительных головок МГ 6-24 и МГ 20-40, используемых для контроля проводов/грозотросов диаметром 6-24 мм, 20-40 мм соответственно и электронного блока (ЭБ), которые используются для дефектоскопии проводов и грозотросов.

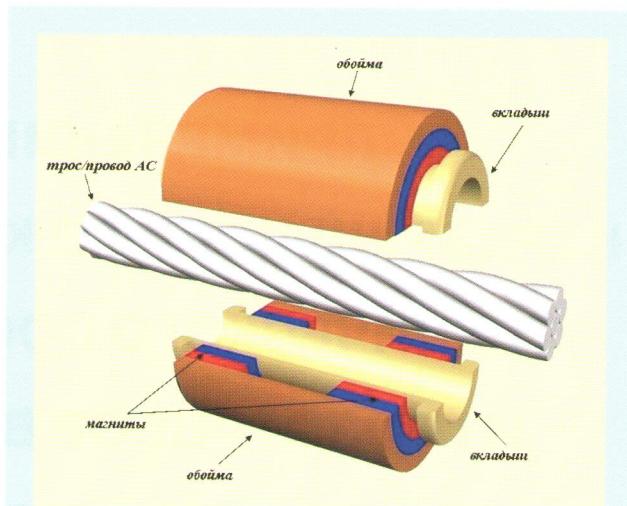


Рис. 1. Принципиальная схема магнитного дефектоскопа

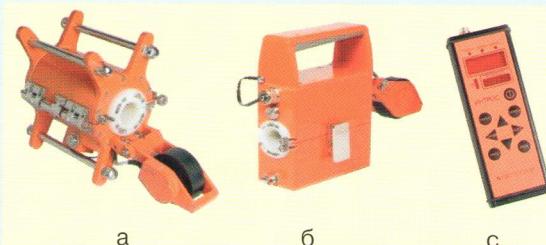


Рис. 2. Измерительные головки МГ6-24 (а), МГ 20-40 (б) и электронный блок (с) дефектоскопа ИНТРОС

### Технология выполнения работ по магнитной дефектоскопии проводов и грозозащитных тросов ВЛ

Контроль ТС проводов и грозотросов с использованием дефектоскопов ИНТРОС выполняется на ВЛ со снятием напряжения. Для проведения диагностики провода/грозотроса МГ дефектоскопа ИНТРОС вместе с прикрепленным к ней ЭБ должна быть навешена на контролируемый объект. Работы по монтажу дефектоскопов ИНТРОС на высоте подвески провод/грозотрос выполняются с применением соответствующих технических спецсредств и оборудования (подъемник, монтажная люлька и т.п.).

Для записи дефектограмм МГ должна перемещаться вдоль доступного контролю участка провода или гро-



Рис. 3. Использование самоходного устройства при диагностике оборудования ВЛ  
а - дефектоскопия проводов; б - контроль оттяжек

троса (перетянута вручную при помощи прикрепленного к ней капронового каната или при помощи дистанционно управляемого самоходного устройства - движителя). При контроле ТС проводов, грозотросов и оттяжек опор ВЛ специалисты компании «ИНТРОН ПЛЮС» применяют оба метода. При необходимости используют специально спроектированное автономное дистанционно управляемое самоходное устройство (рис. 3).

#### **Критерии оценки технического состояния проводов и грозотросов ВЛ по данным магнитной дефектоскопии**

Оценка технического состояния проводов и грозотросов производится в соответствии с [5]. Ниже приведены используемые критерии оценки ТС стальоалюминевых проводов и грозотросов на основе данных НК методом магнитной дефектоскопии.

- «Нормальное» состояние – ПС не более 3,6%
- «Рабочее» состояние – ПС от 3,6% до 11%
- «Ухудшенное» состояние – ПС от 11% до 20%
- «Предаварийное» состояние – ПС более 20%, а также наличие обрывов проволок сердечника. Недопустимое количество ЛД типа обрывов проволок стального сердечника провода или грозотроса зависит от их конструкции.

Исходя из критериев оценки ТС проводов и грозозащитных тросов ВЛ по данным магнитной дефектоскопии проконтролированного провода или грозотроса, рекомендуется назначать следующие сроки проведения очередной диагностики: «Нормальное» и «Рабочее» – через 6 лет после предыдущей дефектоскопии; «Ухудшенное» состояние – через 3 года после предыдущей дефектоскопии.

#### **Методика расчета потери прочности проводов и грозотросов ВЛ по данным магнитной дефектоскопии**

Расчет потери прочности проводов и грозотросов ВЛ электропередач является важной составной частью общей проблемы анализа их технического состояния в процессе эксплуатации. Диагностическая информация, получаемая методом магнитной дефектоскопии, сама по себе не позволяет судить об изменении несущей способности проводов и грозотросов с инженерной точки зрения. Однако диагностические параметры, такие как частичная потеря сечения и/или обрывы проволок, могут быть использованы в качестве входных данных механических моделей провода или грозотроса. Данный подход позволяет методами механики конструкций определить ряд прочностных показателей, по которым можно делать выводы о ТС проконтролированных объектов.

Методы прочностного расчета комбинированных проводов как композитных конструкций разработаны достаточно подробно [6]. При этом провода и грозотросы рассматриваются как наборы независимых прямолинейных проволок, то есть все результаты получаются в «стержневом приближении». На основании подобных оценок сформулированы и требования к безопасности проводов в нормативных документах. Более точным является расчет грозотросов и проводов с использованием теории спиральных канатов, которая учитывает влияние

винтовой структуры на напряженное состояние в каждой проволоке [7]. В механической модели спирального каната учитывается способность оборванных проволок воспринимать натяжение при удалении от места обрыва.

Потерю несущей способности естественно трактовать как уменьшение коэффициента запаса прочности рабочего провода (грозотроса) по сравнению с начальным (бездефектным) состоянием. Данный показатель, свидетельствуя об изменении запаса живучести конструкции с дефектами, сигнализирует о необходимости принятия надлежащих мер, если исходный запас прочности провода (грозотроса) приближается к допустимому уровню.

#### **Принципы расчета потери прочности грозотросов.**

Последовательность операций прочностного расчета грозотроса по модели спирального каната сводится к следующим шагам [7]. Рассчитываются показатели прочности для трех вариантов: целого грозотроса без дефектов, грозотроса с известным распределением потери сечения и с заданными локальными дефектами (обрывами проволок). В каждом случае сначала вычисляются деформации грозотроса, деформации и напряжения растяжения, изгиба и кручения в проволоках. Соответствующие формулы достаточно громоздки и здесь не приводятся. Затем определяются максимальные напряжения  $\sigma_{\max}$  в наиболее напряженной проволоке и коэффициент запаса прочности  $n$  по напряжениям

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\max}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_B$  – марковочная группа (предел прочности материала проволок на разрыв).

Дефектоскоп фиксирует обобщенные параметры деградации грозотроса – потерю сечения по металлу  $\Delta S$  и число ЛД – обрывов проволок  $A$ , не давая информацию о распределении дефектов по проволокам. Относительными показателями снижения прочности сечения грозотроса, ослабленного, с одной стороны, потерей площади по металлу  $\Delta S$ , а с другой – обрывами проволок числом  $A$ , являются параметры

$$\chi_{\Delta S} = 1 - \frac{n_{\Delta S}}{n}, \quad \chi_A = 1 - \frac{n_A}{n}.$$

Они соответствуют наиболее вероятным распределениям дефектов для измеренных (неслучайных) величин  $\Delta S$  и  $A$ . Здесь  $n_{\Delta S}$  и  $n_A$  – коэффициенты запаса прочности грозотроса с дефектами,  $n$  – коэффициент запаса прочности неповрежденного грозотроса.

Показатели снижения несущей способности  $\chi_{\Delta S}$  и  $\chi_A$  определяются независимо. Результирующая потеря прочности  $\chi(x)$  в сечении грозотроса с продольной координатой  $x$  оценивается суммой

$$\chi(x) = \chi_{\Delta S} + \chi_A(x),$$

где первое слагаемое относится к потере прочности за счет утраты части фрагментов металлического сечения (ПС), а второе – за счет обрывов (ЛД).

**Методика расчета потери прочности стальоалюминиевых проводов.** Прочностной расчет провода типа АС сводится к определению напряжений в про-

волоках сердечника и алюминиевого повива по теории спиральных канатов [6] и вычислению фактического коэффициента запаса прочности. Под потерей прочности рабочего провода понимается снижение его запаса прочности относительно начального (бездефектного) состояния. В приводимых ниже выражениях верхний индекс (1) относится к параметрам стального сердечника, индекс (2) – к параметрам алюминиевого повива. Параметры без верхнего индекса относятся к проводу в целом и имеют осредненный характер.

**Новый провод (без дефектов).** Фактический коэффициент запаса провода в целом вычисляется по формуле

$$n = \frac{\sigma_B}{\max \sigma}, \quad (2)$$

где  $\sigma_B$  – предел прочности провода,  $\max \sigma$  – максимальное по длине провода напряжение, зависящее от его тяжения. Предел прочности провода  $\sigma_B$  определяется отношением разрывного усилия провода  $P_B$  к площади сечения провода по металлу  $F$

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F} = \frac{\sigma^{(1)}(\varepsilon = 0,01)F^{(1)} + \sigma_B^{(2)}F^{(2)}}{F^{(1)} + F^{(2)}}, \quad (3)$$

где  $\sigma^{(1)}(\varepsilon = 0,01)$  – напряжения в проволоках стального сердечника при их деформации  $\varepsilon = 0,01(1\%)$ , что соответствует достижению напряжений в алюминиевых проволоках предела прочности на разрыв  $\sigma_B^{(2)}$ ;  $F^{(1)}$ ,  $F^{(2)}$  – площади сечений сердечника и алюминиевой части ( $F^{(1)} + F^{(2)} = F$ ). Напряжения в проводе от внешней нагрузки определяются выражением

$$\sigma = \frac{\sum_j \sigma_j^{(1)} F_j^{(1)} + \sum_k \sigma_k^{(2)} F_k^{(2)}}{F^{(1)} + F^{(2)}}. \quad (4)$$

Здесь  $\delta_j^{(1)}$  – напряжение в  $j$ -й проволоке сердечника,  $\delta_k^{(2)}$  – напряжение в  $k$ -й проволоке алюминиевого повива;  $F_j^{(1)}$ ,  $F_k^{(2)}$  – площади сечений стальной и алюминиевой проволок. Напряжения вычисляются по модели деформирования спирального каната согласно принятому критерию прочности.

В ПУЭ-7 ставится требование, чтобы фактические напряжения в проводе, вычисленные по формуле (3), не превышали некоторого допустимого значения  $[\sigma]$

$$\sigma \leq [\sigma]. \quad (5)$$

Допустимое напряжение  $[\sigma]$  зависит от типа и марки провода и характерных условий эксплуатации. Для проводов типа АС и «среднегодовой температуры» принимается  $[\sigma] = 0,3\sigma_B$ . В механике конструкций подобное соотношение записывают в виде  $[\sigma] = \sigma_B / [n]$ , где параметр  $[n]$  имеет смысл нормативного коэффициента запаса прочности.

**Провод с дефектами.** Относительная потеря прочности провода с дефектами определяется по той же схеме, что и для грозотросов. Коэффициенты запаса  $n_{AS}$  и  $n_A$  вычисляются с использованием (2) – (4), где сумми-

рование производится по оставшимся целым проволокам (при наличии обрывов) или оставшимся фрагментам проволок (при частичной потере сечения). Карты дефектности ПС и ЛД провода формируются по данным диагностики, полученным дефектоскопом ИНТРОС.

Как для грозотросов, так и проводов можно ввести показатель относительной остаточной прочности  $\eta$ , который связан с относительной потерей прочности  $\chi$  очевидным соотношением

$$\eta = 1 - \chi. \quad (6)$$

Абсолютный коэффициент запаса остаточной прочности провода (грозотроса) с дефектами  $\tilde{n}$  – коэффициент живучести связан с коэффициентом запаса прочности в исходном состоянии  $n$  через параметр  $\eta$ :

$$\tilde{n} = \eta n. \quad (7)$$

Прочностные показатели  $\tilde{n}$  и  $\chi$  предлагается использовать при оценке текущего ТС провода/грозотроса с дефектами. Соответствие диагностического параметра ПС для стальноеалюминиевых проводов [8] вышеуказанным критериям оценки их ТС проиллюстрировано на рис. 4.

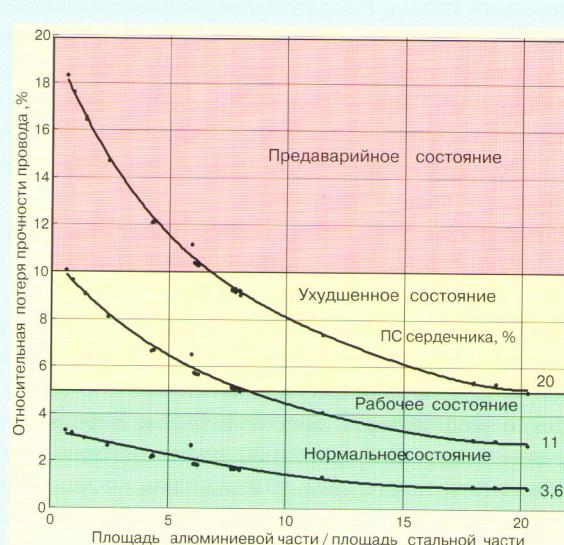
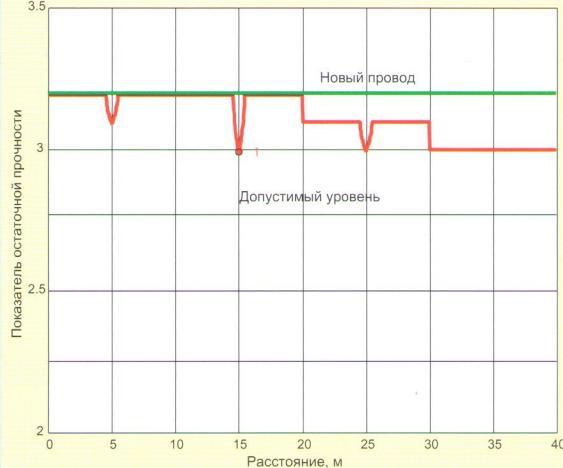
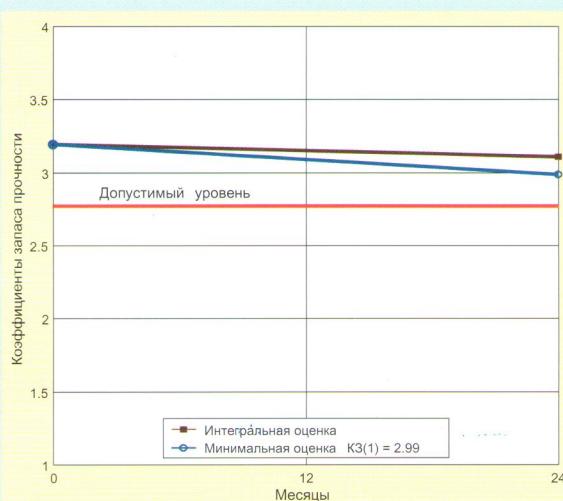


Рис. 4. Области состояний стальноеалюминиевых проводов (ГОСТ 839-80Е)

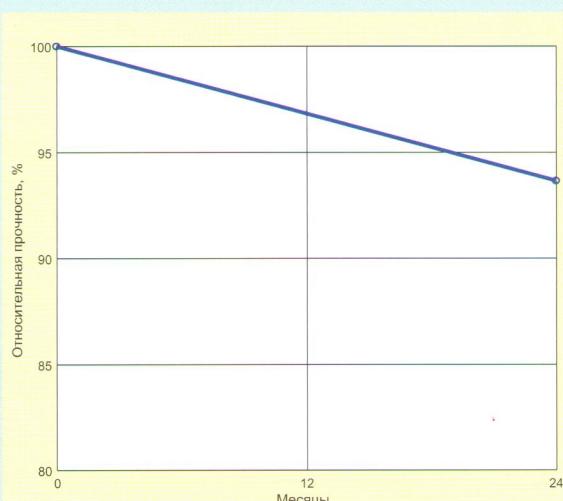
**Пример расчета остаточной прочности стальноеалюминиевого провода.** Модельный пример расчета остаточной прочности проводился для отрезка провода АС300/66 (ГОСТ 839-80Е) длиной 40 м, имеющего следующие дефекты сердечника: ПС=5% на участке 20,0 – 30,0 м и ПС=10% на участке 30,0 – 40,0 м; ЛД типа одной ОП в сечениях с координатами 5,0 и 25,0 м, а также типа двух ОП в сечении с координатой 15,0 м. На рис. 5 представлено распределение прочностного показателя  $\tilde{n}$  вдоль отрезка провода. Рис. 6 иллюстрирует изменение двух показателей запаса остаточной прочности провода – среднего на участке контроля и минимального – за 24 месяца эксплуатации



**Рис. 5. Изменение показателя прочности провода с дефектами на контролируемом участке**



**Рис. 6. Изменение среднего и минимального коэффициентов запаса прочности провода в ходе наработки**



**Рис. 7. Изменение относительной прочности провода в ходе наработки**

ции (наработки). На рис. 7 приведено соответствующее изменение относительной остаточной прочности провода  $\eta$ .

Расчет показывает, что в данном случае относительная потеря прочности провода  $\chi$  в процентном выражении составляет  $\chi = 6,37\%$ .

Отметим некоторые общие тенденции в результатах оценки прочности проводов и грозотросов с дефектами.

- Потеря прочности АС проводов оказывается меньше величины ПС сердечника, так как часть нагрузки дополнительно воспринимается алюминиевым повивом.

- Расчет провода или грозотроса по модели спирального каната, в отличие от «стержневого приближения», учитывает неравномерное распределение напряжений по проволокам, которое обусловлено растяжением, изгибом и кручением проволок. Он дает большую потерю прочности, чем расчет по предельным нагрузкам в «стержневом приближении». По той же причине потеря прочности грозотросов в процентном отношении выше, чем соответствующая потеря несущего сечения по металлу.

- Коэффициент запаса прочности снижается заметнее для проводов с более сложной конструкцией сердечника (при сопоставимом тяжении). Чем сложнее конструкция сердечника, тем больше запасы прочности новых проводов и проводов с дефектами при одинаковом уровне дефектности.

#### Некоторые результаты контроля технического состояния проводов и грозотросов методом магнитной дефектоскопии

Начиная с 2010 г. специалисты компании «ИНТРОН ПЛЮС» принимают участие в выполнении ряда субподрядных договоров по освидетельствованию ВЛ 35-220 кВ филиалов ОАО «Холдинг МРСК». В рамках одной из работ в 2011-2012 гг. магнитная дефектоскопия проводов и грозотросов была произведена на 39 ВЛ 110 кВ со сроком эксплуатации 30-40 лет и более, перечень которых приведен в таблице.

Общие результаты контроля ТС этих линий отражены диаграммой, приведенной на рис. 8.

В ряде случаев были диагностированы эксплуатационные дефекты грозотросов и сердечников проводов. Так, например, на ВЛ 110 кВ «Балабаново – Ворсино»



**Рис. 8. Результаты диагностики проконтролированных ВЛ**

**Воздушные линии электропередачи, на которых была проведена магнитная дефектоскопия  
проводов и грозотросов в 2011-2012 гг.**

МРСК / РСК	Наименование филиала	Наименование объекта	Дата контроля
ОАО «МРСК ЦЕНТРА»	OAO «Курскэнерго»	ВЛ110 кВ «Садовая - Золотухино»	24.11.2011
		ВЛ 110 кВ «Золотухино - Возы»	25.11.2011
	OAO «Липецкэнерго»	ВЛ 110 кВ «Чугун - Правая»	09.12.2011
	OAO «Смоленскэнерго»	ВЛ 110 кВ «Сафоново - Издешково»	26.11.2011
	OAO «Брянскэнерго»	ВЛ 110 кВ «Цементная - Дятьковская»	07.12.2011
	OAO «Орелэнерго»	ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская районная 1»	07.11.2011
ОАО «МРСК ЦЕНТРА»	OAO «Ярэнерго»	ВЛ 110 кВ «Ярцево - Нерехта 1»	16.11.2011
	OAO «Костромаэнерго»	ВЛ 110 кВ «Нерехта - Мотордеталь-2»	03.11.2011
ОАО «МРСК ЦЕНТРА И ПРИВОЛЖЬЯ»	OAO «Калугаэнерго»	ВЛ 110 кВ «Балабаново – Ворсино»	13.12.2011
		ВЛ 110 кВ «Кирпичная – Черкасово»	27.11.2011
		СВЛ 110 кВ «Мирная — Обнинск»	23.03.2012
	OAO «Тулаэнерго»	ВЛ 110 кВ «Алексинская ТЭЦ – Пушкинская»	06.12.2011
		ВЛ 110 кВ «Пушкинская – Ленинская»	07.12.2011
	OAO «Мариэнерго»	ВЛ 110 кВ «Чигашево – Данилово-1»	10.10.2011
	OAO «Нижновэнерго»	ВЛ 110 кВ «Дзержинская ТЭЦ – Павлово»	20.10.2011
		ВЛ 110 кВ «Дзержинская ТЭЦ – Павлово»	21.10.2011
	OAO «Рязаньэнерго»	ВЛ 110 кВ «Ямская – Рязань»	25.10.2011
		ВЛ 110 кВ «Ямская – Дягилево»	26.10.2011
ОАО «МРСК СЕВЕРО-ЗАПАДА»	OAO «Архэнерго»	ВЛ 110 кВ «Архангельская ТЭЦ - ПС №7»	01.12.2011
ОАО «МРСК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА»	OAO «Ставропольэнерго»	ВЛ 110 кВ «Сенгилеевская ГЭС – III Подъем»	11.10.2011
		ВЛ 110 кВ «Машук - Е-2»	10.10.2011
		ВЛ 110 кВ «ГНС - Е-2»	21.10.2011
ОАО «МРСК ЮГА»	OAO «Ростовэнерго»	ВЛ 110 кВ «Г20 -Замчалово»	23.09.2011
		ВЛ 110 кВ «Р29 – Хапры»	23.09.2011
ОАО «МРСК ВОЛГИ»	Ульяновские РС	ВЛ 110 кВ «Ульяновская – Майна»	16.12.2011
	Самарские РС	ВЛ 110 кВ «Речная -1»	25.12.2011
		ВЛ 110 кВ «Речная –2»	24.12.2011
	OAO «Мордовэнерго»	ВЛ 110 кВ «Рузаевка – ЛАЛ»	21.11.2011
		ВЛ 110 кВ «Рузаевка – Юго-Западная»	19.04.2012
ОАО «МРСК УРАЛА»	OAO «Челябэнерго»	ВЛ 110 кВ «Исаково — Челябинская ТЭЦ-1», цепь 1	16.06.2012
		ВЛ 110 кВ «Исаково — Челябинская ТЭЦ-1», цепь 2	17.06.2012
ОАО «Янтарьэнерго»	OAO «Янтарьэнерго»	ВЛ 110 кВ «ПС Центральная – ПС Московская»	25.10.2011
		ВЛ 110 кВ «ПС Московская – ПС Северная»	26.10.2011
		ВЛ 110 кВ «ПС Центральная – ПС Северная»	27.10.2011
ОАО «Ленэнерго»	OAO «Ленэнерго»	ВЛ 110 кВ «Рощинская – 3»	08.11.2011
		ВЛ 110 кВ «Парголовская – 1»	06.06.2012
ОАО «Тюменьэнерго»	OAO «Тюменьэнерго»	ВЛ 110 кВ «Мегион – Кирьяновская-1»	16.08.2012
		ВЛ 110 кВ «Мегион - Кирьяновская-2»	17.08.2012
		ВЛ 110 кВ «Кирилловская-Айка»	17.10.2012
		ВЛ 110 кВ «Инга-Таврическая»	19.10.2012

(ОАО «Калугаэнерго») в пролете между опорами 32 – 33 был обнаружен коррозионный износ по всей длине грозотроса (СТ 50), но обрывов проволок обнаружено не было. Дефектограмма ПС по длине грозотроса приведена на рис. 9. Максимальное значение ПС=17 % (на

отметке 52,7 м), а относительная потеря прочности  $\chi = 19,6\%$ . Техническое состояние грозотроса диагностировано как «Ухудшенное», но грозотрос пригоден к дальнейшей эксплуатации. Очередной контроль рекомендовано провести в 2015 г.

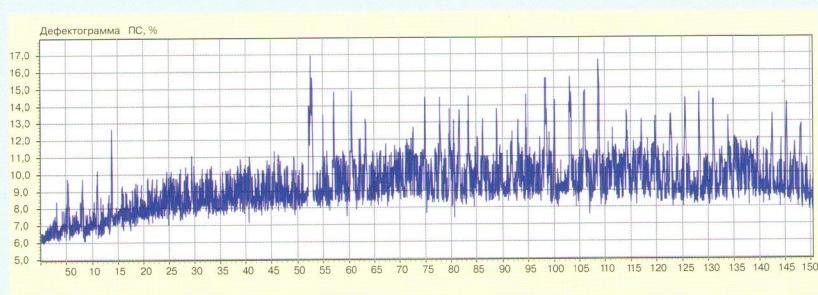


Рис. 9. Дефектограмма ПС грозотроса в пролете между опорами 32 – 33 на ВЛ «Балабаново – Ворзино»

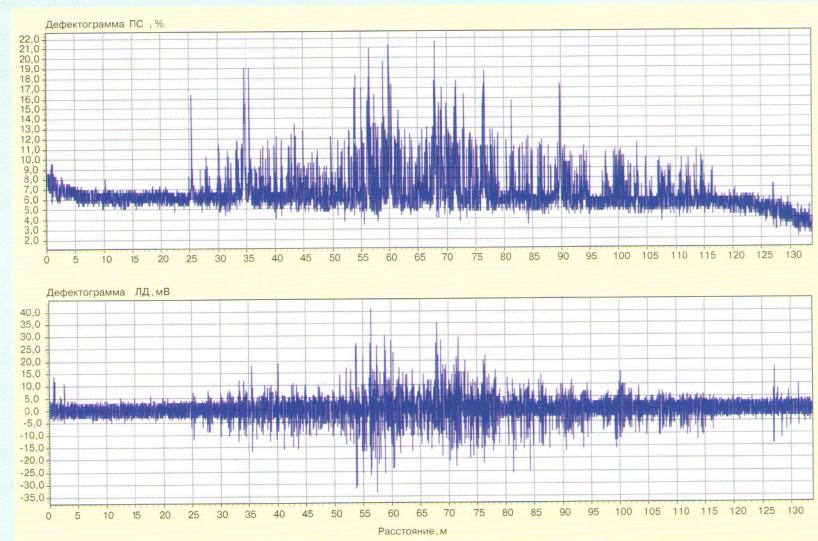


Рис. 10. Дефектограммы провода А в пролете между опорами 1-2 на ВЛ «Пушкинская – Ленинская»

## ВЫВОДЫ

1. Магнитная дефектоскопия является эффективным методом неразрушающего контроля и диагностики технического состояния сталеалюминиевых проводов и стальных грозотросов. В последнее время она находит все более широкое применение в практике обследований воздушных линий электропередачи напряжением 35–500 кВ.

2. Необходимость применения магнитной дефектоскопии при диагностике технического состояния линейного оборудования ВЛ должна быть отражена в нормативно-технических документах, регламентирующих порядок проведения и очередность контрольно-диагностических работ на линиях.

3. Предлагаемый диагностический параметр (коэффициент живучести) в сочетании с данными дефектоскопии позволяет придать результатам неразрушающего контроля привычный инженерный смысл. Этот показатель может быть дополнительным аргументом при принятии решений эксплуатационным персоналом.

На ВЛ 110 кВ «Пушкинская – Ленинская» (ОАО «Тулаэнерго») в пролете между опорами 1-2 по всей проконтролированной длине был обнаружен значительный коррозионный износ и единичные обрывы проволок сердечников проводов (АС-120/19). В качестве примера на рис.10 приведены дефектограммы ПС и ЛД нижнего провода (А).

Максимальные значения потери сечения сердечников составляют: у провода (А) – ПС=21,6% (на отметке 68,0 м), у провода (Б) – ПС=20,2% (на отметке 9,6 м); у провода (С) – ПС=20,1% (на отметке 66,8 м). Относительные потери прочности проводов А, Б и С равны соответственно:  $\chi = 11,3\%$ ,  $\chi = 10,4\%$  и  $\chi = 10,3\%$ . Техническое состояние проводов А, Б и С диагностировано как «Предварийное» и провода не пригодны к эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. ГОСТ 18353-79. 40 с.

2. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения. Котельников В.С., Сухоруков В.В., Короткий А.А. и др. РД-03-348-00. М.: Гостехнадзор, 2000. 18 с.

3. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: В 3 кн. Кн. 1: В.В. Клюев, В.Ф.

Мужицкий, Э.С. Горунов, В.Е. Щербинин. Магнитные методы контроля. Кн. 2: В.Н. Филинов, А.А. Кеткович, М.В. Филинов. Оптический контроль. Кн. 3: В.И. Матвеев. Радиоволновой контроль. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 832 с.

4. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль стальных каналов: новые приборы. Контроль. Диагностика. 1999. №1.

5. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. П68. Стреотипное переиздание. СПб.: Изд-во ДЕАН, 2008. 704 с.

6. Кессельман Л.М. Основы механики воздушных линий электропередач. М.: Энергоатомиздат, 1992. 354 с.

7. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. Киев: Техника, 1966. 323 с.

8. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия. ГОСТ 839-80. 24 с.

**Волоховский Василий Юрьевич** – канд. техн. наук, доцент, руководитель группы прочности  
(495) 666-5431 (доб. 504) vvolokhovsky@intron.ru

**Воронцов Александр Николаевич** – канд. техн. наук, доцент, ведущий сотрудник отдела разработки  
(495) 666-5431 (доб. 505) avorontsov@intron.ru

**Сухоруков Василий Васильевич** – докт. техн. наук, профессор, президент  
(495) 666-5431 (доб. 103) vsukhorukov@intron.ru

**Цуканов Виктор Владимирович** – инженер, начальник лаборатории  
(495) 666-5431 (доб. 423) vtsukanov@intron.ru