

Опыт применения магнитной дефектоскопии при оценке технического состояния канатов оттяжек антенно-мачтовых сооружений

В единой сети электросвязи России для размещения различного антенного оборудования используются десятки тысяч антенно-мачтовых сооружений (АМС)

Василий Волоховский

Руководитель группы прочности,
к.т.н., ООО «ИНТРОН ПЛЮС»

Александр Воронцов

Ведущий специалист группы разработки,
к.т.н., ООО «ИНТРОН ПЛЮС»

Елена Евсеева

Инженер, ООО «ИНТРОН ПЛЮС»

Александр Жирнов

Инженер, ООО «ИНТРОН ПЛЮС»

Борис Черепов,

Инженер. Департамент оперативно-технического управления сетью телерадиовещания, РТРС

Так, только в РТРС, которая является оператором, осуществляющим эфирную наземную трансляцию общероссийских обязательных общедоступных теле- и радиоканалов на всей территории РФ, в эксплуатации находится более 5 тыс. АМС различных типов и высот. Из них 2100 сооружений являются мачтами — высотными сооружениями, устойчивость которых обеспечивается наклонными оттяжками из стальных канатов с предварительным натяжением.

Боле 800 мачт построено до 1985 года, то есть более 30 лет назад при сроке службы стальных канатов 20–25 лет, поэтому проблема обоснованного продления срока службы и обеспечения надежной и безаварийной работы оттяжек является весьма актуальной.

Введение

Надежность и безопасность эксплуатации мачт с оттяжками зависит от многих факторов, в том числе в большой степени от технического состояния (ТС) стальных канатов, применяемых в качестве оттяжек. ТС канатов после длительной эксплуатации определяется целым рядом обстоятельств и причин. В первую очередь это уровень действующих на них ста-

тических и динамических продольно-поперечных механических нагрузок, климатических воздействий, особенностей состава и загрязненности атмосферы, интенсивности эксплуатации приемопередающих устройств и т.д. Основной причиной деградации ТС канатов оттяжек мачт является появление дефектов типа потери сечения по металлу (ПС), которая возникает из-за распределенного по длине каната коррозионного износа.

Кроме того, в прядях и/или сердечнике каната могут изначально иметься (брак при изготовлении) либо возникнуть в процессе эксплуатации обрывы проволок, которые наряду с точечной коррозией принято называть локальными дефектами (ЛД). Появление дефектов типа ПС и ЛД вместе с изменением со временем механических параметров стальной проволоки приводит к снижению несущей способности канатов. В связи с этим очень важно при технической диагностике оттяжек иметь возможность как измерять относительную потерю сечения каната по металлу, так и обнаруживать обрывы проволок.

В соответствии с действующими в отрасли нормативными документами и правилами эксплуатации все АМС подлежат обязательному и регулярно обследованию технического состояния. До недавнего времени обследование ТС оттяжек АМС заключалось лишь в визуальном контроле (осмотре) канатов и узлов их крепления, а также в инструментальной проверке натяжения канатов.

Существенным недостатком визуального метода контроля ТС оттяжек является, с одной стороны, трудность количественной оценки величины ПС канатов, а с другой — невозможность обнаружения

при осмотрах обрывов внутренних проволок в прядях каната и его сердечника, что не позволяет объективно документировать результаты диагностики. Остаточная несущая способность оттяжек АМС с большим сроком эксплуатации при наличии данных об актуальных значениях механических характеристик их материала может быть оценена расчетным путем на основе результатов дефектоскопии, полученных с помощью соответствующих инструментальных средств.

Проблема достоверной оценки потери сечения каната по металлу, а также выявление мест обрыва проволок каната имеют важнейшее значение при диагностике оттяжек АМС. В связи с этим при обследованиях мачт в последнее время стали применяться инструментальные методы технической диагностики канатов оттяжек с использованием специальных приборов (дефектоскопов) и вспомогательного оборудования. Одним из эффективных способов контроля ТС стальных канатов оттяжек АМС является магнитная дефектоскопия [1–3].

Магнитная дефектоскопия стальных канатов в соответствии с [3] представляет собой вид неразрушающего контроля (НК), имеющего целью определение фактического ТС контролируемых канатов и принятие решения о соответствии канатов требованиям их безопасной эксплуатации. Ниже дано описание указанного метода технической диагностики, соответствующей аппаратуры и технологии выполнения работ.

Методы и аппаратура магнитной дефектоскопии стальных канатов оттяжек АМС

Современные измерители износа стальных канатов (дефектоскопы) реализуют магнитный вид НК [4] и предназначены для диагностики круглых стальных канатов различных диаметров и конструкций как при их производстве (выходной контроль), так и в процессе эксплуа-

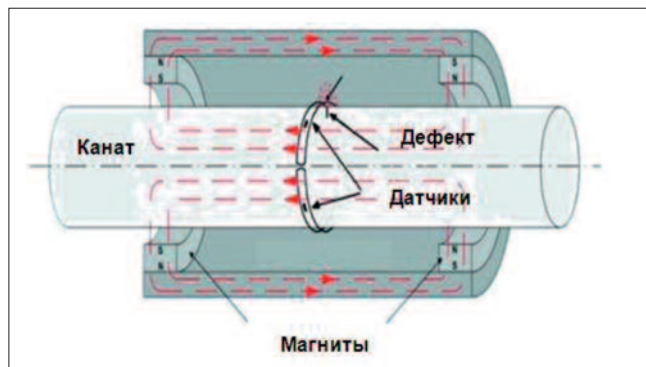


Рисунок 1 Принцип действия дефектоскопа

тации. Магнитные дефектоскопы обеспечивают измерение ПС и обнаружение ЛД как на поверхности каната, так и внутри него.

В большинстве случаев дефектоскоп состоит из магнитной головки (МГ), использующей в качестве магниточувствительных элементов датчики Холла, и электронного блока (ЭБ). Модельный ряд МГ позволяет выполнять дефектоскопию канатов различного диаметра. ЭБ обеспечивает управление работой дефектоскопа и визуализацию данных диагностики. Он имеет встроенную память для хранения результатов дефектоскопии (дефектограмм по каналам ПС и ЛД) каната и возможность сопряжения с внешним устройством регистрации и обработки информации с применением соответствующего программного обеспечения. Как правило, МГ оснащается счетчиком метража — устройством для определения ее положения на контролируемом канате. Информация со счетчика метража позволяет однозначно «привязывать» обнаруженные дефекты к конкретному месту проконтролированного участка каната.

При магнитной дефектоскопии для измерения ПС каната и обнаружения ЛД используется метод, основанный на регистрации магнитного поля рассеяния (рис. 1). Магнитный поток вдоль оси контролируемого участка каната создают магниты, установленные в МГ дефектоскопа. Охватываемый МГ участок каната намагничивается до состояния, близкого к магнитному насыщению. Измеряемая с помощью магниточувствительных датчиков величина индукции магнитного поля пропорциональна изменению площади поперечного сечения каната по металлу относительно номинального значения. Физические нарушения целостности каната (ЛД типа обрывов проволок, точечной сварки, коррозионных язв и т.п.) создают вблизи этих дефектов магнитный поток рассеяния, который



Рисунок 2 Дефектоскопия оттяжек АМС (перемещение МГ а) при помощи капронового троса или б) с использованием СУ

также регистрируется магниточувствительными датчиками.

Кроме этого, МГ позволяет обнаружить участки каната, подвергшиеся в процессе эксплуатации воздействию токов высокой частоты и/или температуры, что может приводить к изменению структуры металла проволок каната или к их деформации.

Технология выполнения работ по магнитной дефектоскопии канатов оттяжек АМС

Дефектоскопия канатов оттяжек АМС проводится бригадой специалистов НК и промышленных альпинистов. Специалисты по магнитному НК должны быть подготовлены к использованию применяемого оборудования (магнитного дефектоскопа) и уметь осуществлять запись дефектограмм, получаемых при диагностике канатов. Расшифровку дефектограмм и подготовку заключений по результатам дефектоскопии канатов имеет право выполнять аттестованный специалист.

С целью проведения магнитной дефектоскопии всей длины оттяжки МГ устанавливается на канат выше соответствующего нижнего анкера.

Для записи дефектограмм по каналам ПС и ЛД измерительная головка дефектоскопа должна быть перемещена вдоль доступного контролю участка каната оттяжки АМС. Магнитная головка может быть перемещена вдоль каната при помощи прикрепленного к ней капронового каната или с использованием движителя — автономного, дистанционно управляемого самоходного устройства (СУ) (рис. 2а, б).

Работы по диагностике канатов оттяжек с применением магнитных и СУ проводятся при температуре, скорости ветра и атмосферных условиях, оговоренных руководством по эксплуатации (РЭ). Как правило, это температура от -10 до +40 °С, скорость ветра до 7–10 м/с и отсутствие атмосферных осадков (снег, дождь). До начала инструментального контроля оттяжек необходимо выполнить их осмотр с целью выявления наличия/отсутствия препятствий перемещению МГ (выступающих концов оборванных проволок и т.п.). Визуальный контроль всей длины оттяжек проводится при помощи оптических приборов (бинокль, подзорная труба), либо осмотр осуществляется непосредственно промышленными альпинистами.



Магнитная дефектоскопия канатов оттяжек антенно-мачтовых сооружений и растяжек факельных систем открытого типа с использованием дефектоскопа ИНТРОС

- ✓ Одновременное измерение относительной потери сечения металла каната и выявление обрывов проволок как на поверхности каната, так и внутри него;
- ✓ Расчет остаточной несущей способности канатов;
- ✓ Выдача заключения о техническом состоянии канатов и рекомендаций по их дальнейшему использованию;
- ✓ Возможность продления срока службы каната без снижения степени безопасности его эксплуатации.



ООО "ИНТРОН ПЛЮС"
 Электродная ул., 11, стр. 1, Москва, 111524, Россия
 Тел.: +7 (495) 665-5431, +7 (495) 229-3747 Факс: +7 (495) 510-1769
 e-mail: info@intron.ru www.intron.ru

Расшифровка дефектограмм (по обоим каналам — ПС и ЛД) осуществляется на ЭВМ с использованием специальных программных средств и выполняется аттестованными экспертами. Заключение по каждому проконтролированному канату составляется и оформляется в соответствии с РД 03-348-00 [3].

Методика оценки несущей способности канатов оттяжек АМС по данным магнитной дефектоскопии

Расчет несущей способности (потери прочности) канатов оттяжек АМС является важной составной частью общей проблемы анализа их технического состояния в процессе эксплуатации. Информация, получаемая методом магнитной дефектоскопии, лишь косвенно позволяет судить об изменении несущей способности канатов. Однако диагностические параметры, такие как величина ПС и/или данные об ЛД, могут быть использованы в качестве входных параметров для расчетной механической модели стального каната с дефектами. Такой подход к использованию результатов магнитной дефектоскопии позволяет методами сопротивления материалов и строительной механики определить ряд прочностных показателей, по которым можно делать выводы о ТС проконтролированных канатов оттяжек АМС.

Последовательность операций прочностного расчета каната оттяжки сводится к следующим шагам. На основе теории стальных канатов [5] определяются показатели прочности для трех вариантов: бездефектного каната, а также канатов с диагностированной величиной ПС и обнаруженными ЛД (обрывами проволок). В каждом случае сначала вычисляются напряжения растяжения,

изгиба и кручения в проволоках каната. Затем определяются максимальные эквивалентные напряжения σ_{\max} в наиболее напряженной проволоке по соответствующему критерию прочности и коэффициент запаса прочности:

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\max}}$$

где σ_B — предел прочности материала проволок на растяжение.

Относительными показателями снижения прочности каната, ослабленного, с одной стороны, потерей сечения площади по металлу ΔF , а с другой — обрывами проволок числом A , являются параметры

$$\chi_A = 1 - \frac{n_A}{n_0}, \quad \chi_{\Delta F} = 1 - \frac{n_{\Delta F}}{n_0}$$

Здесь $n_{\Delta F}$ и n_A — коэффициенты запаса прочности каната с дефектами типа ПС и ЛД соответственно, n_0 — коэффициент запаса прочности неповрежденного (нового) каната. Показатели снижения прочности (несущей способности) $\chi_{\Delta F}$ и χ_A определяются независимо. Результирующая потеря прочности χ в любом сечении каната оценивается как суперпозиция потерь:

$$\chi = \chi_{\Delta F} + \chi_A$$

Фактический коэффициент запаса остаточной прочности \tilde{n} каната с дефектами определяется по формуле:

$$\tilde{n} = n_0 (1 - \max \chi),$$

где $\max \chi$ есть максимальная потеря прочности в некотором сечении каната на контролируемом участке.

Фактический коэффициент запаса n_0 нового каната оттяжки АМС определяется регламентируемым допус-

тым напряжением. Запас прочности \tilde{n} каната оттяжки АМС должен оставаться выше минимально допустимого уровня n_* на протяжении всего срока эксплуатации, то есть должно выполняться условие:

$$\tilde{n} \geq n_*$$

Отметим некоторые проблемы и особенности результатов расчетной оценки остаточной прочности стальных канатов с дефектами и большим сроком их эксплуатации:

— Расчетная оценка несущей способности оттяжек должна проводиться с учетом изменения прочностных характеристик соответствующих конструкционных материалов в процессе длительной эксплуатации [6].

К сожалению, пока нет достоверных и систематизированных данных, касающихся характеристик длительной прочности канатов оттяжек АМС. Актуальность и целесообразность проведения таких исследований не вызывает сомнений.

— Расчет на прочность оттяжки с использованием модели спирального каната, в отличие от “стержневого приближения”, учитывает неравномерное распределение напряжений по проволокам, которое обусловлено их растяжением, изгибом и кручением при эксплуатационных нагрузках. Он дает более высокое значение потери прочности каната, чем при расчете по предельным нагрузкам в “стержневом приближении”. По той же причине потеря несущей способности каната оттяжки в процентном отношении выше, чем соответствующая потеря сечения по металлу.

Результаты контроля технического состояния канатов оттяжек АМС методом магнитной дефектоскопии

Дефектоскопия канатов грузоподъемных машин и механизмов, мостовых вантовых канатов, оттяжек труб, грозотросов, оттяжек опор ВЛ и других объектов имеет широкое применение как в России [7–10], так и за рубежом. Контроль ТС канатов оттяжек АМС методом магнитной дефектоскопии в России был проведен в августе 2013 года на двух объектах филиала РТПС — Оренбургского ОРТПЦ. Срок эксплуатации этих АМС превышает 40 лет. Поэтому для данных объектов вопрос оценки остаточной несущей способности канатов оттяжек и аргументированного продления срока их службы сверх нормативного был весьма актуальным.

В ходе выполнения работ по дефектоскопии оттяжек одного из объектов филиала РТПС — Орен-

| Место размещения, тип конструкции и диаметры каната | Участки канатов, подвергнутые дефектоскопии, и их длина | Описание обнаруженных дефектов. Их параметры | Оценка технического состояния каната |
|--|---|--|---|
| Канат оттяжки первого яруса северо-восточного направления. ГОСТ 3068-55. Диаметр 50,5 мм | Длина каната 103,6 м | 1. Максимальное значение ПС каната — 9,9% на отметке 80,9 м. 2. Обнаружен обрыв сердечника на отметке 80,9 м и отсутствие одной проволоки на участке с 60,3 по 68,7 м. 3. Незначительная равномерная коррозия проволок каната. 4. Минимальное значение коэффициента запаса прочности — 4,66. 5. Относительная остаточная прочность каната оттяжки — 0,743. | Канат не пригоден к дальнейшей эксплуатации |

Таблица 1 Результаты дефектоскопии одного из канатов оттяжки первого яруса северо-восточного направления

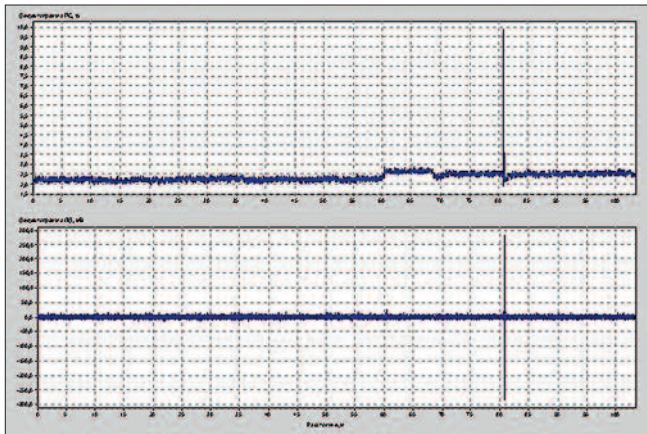


Рисунок 3 Дефектограммы каната оттяжки

бургского ОРТПЦ были выявлены недопустимые дефекты двух канатов 1-го и 3-го ярусов оттяжек, которые диагностированы как обрыв сердечника каната. Данные канаты не пригодны к дальнейшей эксплуатации и подлежат замене. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты дефектоскопии одного из канатов оттяжки первого яруса северо-восточного направления.

На рис. 3 приведены дефектограммы по каналу ПС (вверху) и каналу ЛД (внизу).

Распределение коэффициента запаса прочности по длине этого каната приведено на рис. 4.

Техническое состояние канатов других оттяжек диагностировано как рабочее и срок их эксплуатации продлен на пять лет. Что же касается технического состояния канатов оттяжек второго объекта, то результаты дефектоскопии и оценки остаточной несущей способности оттяжек показали пригодность последних к дальнейшему использованию. В этом случае есть возможность продлить сверх нормативного срок безопасной эксплуатации оттяжек, что экономит многомиллионные средства на их замену.

Выводы

1. Магнитная дефектоскопия является эффективным методом неразрушающего контроля и диагностики технического состояния стальных канатов оттяжек АМС.

2. Магнитный метод контроля оттяжек позволяет обнаруживать и измерять величину не только наружных, но и внутренних дефектов, не обнаруживаемых визуально.

3. Применение магнитного метода контроля для обследования оттяжек АМС дает возможность получать объективную информацию о величине

потери сечения по металлу канатов и протяженности зон коррозионного поражения, а при наличии локальных дефектов типа обрывов проволок — об их месторасположении и числе.

4. Магнитная дефектоскопия находит все более широкое применение в практике обследований оттяжек АМС. Необходимость ее применения при диагностике технического состояния должна быть отражена в нормативно-технических документах, регламентирующих порядок проведения обследований антенно-мачтовых сооружений.

5. Параметр состояния каната — коэффициент запаса остаточной прочности, рассчитанный по данным магнитной дефектоскопии, позволяет придать результатам неразрушающего контроля привычный инженерный смысл. Этот показатель может служить дополнительным аргументом при принятии соответствующих решений, что сократит многомиллионные расходы на ремонтно-восстановительные работы или замену канатов оттяжек.

6. Расширение применения магнитной дефектоскопии канатов оттяжек мачт по единой методике измерений и с организацией единой базы данных по проведенным измерениям позволит выявить статистическую вероятность возникновения и развития ЛД и ПС, что может явиться основой для определения сроков службы канатов антенно-мачтовых сооружений.

Литература

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

2. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: в 3 кн. Кн. 1: Клюев В.В., Мужижкий В.Ф., Гор-

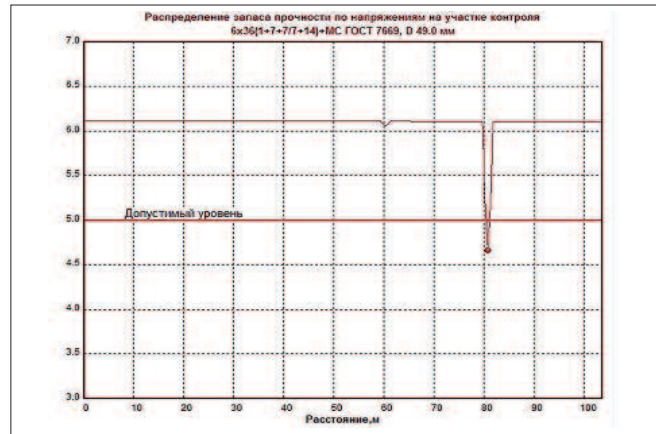


Рисунок 4 Распределение коэффициента запаса прочности по длине каната оттяжки первого яруса северо-восточного направления

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

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

4. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль стальных канатов: новые приборы // Контроль. Диагностика. — 1999. — № 1.

5. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. — Одесса: Астропринт, 2013. — 336 с.

6. Петрова И.М., Гадолина И.В., Ботвина Л.Р., Демина Ю.А., Тютин М.Р. Влияние длительного старения на характеристики усталости стали 45 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2011. — Т. 77, № 1. — С. 58–61.

7. Гузенко В.Л., Полупан А.В., Онопченко А.В. Опыт применения магнитной дефектоскопии стальных канатов подъемных сооружений космодрома Байконур // Безопасность труда в промышленности. — 2004. — № 7. — С. 21–23.

8. Сухоруков Д.В. Неразрушающий контроль и диагностика состояния стальных канатов: проблемы и решения. // "Глюкауф". — 2007. — Август № 3. — С. 63–64.

9. Воронцов А.Н., Слесарев Д.А., Волоховский В.Ю. Прогнозирование индивидуального ресурса стальных канатов // Безопасность труда в промышленности. — 2009. — № 12. — С. 68–73.

Ваше мнение и вопросы по статье направляйте на bc@groteck.ru