

Значение дефектоскопии канатов для повышения безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов

*В.С.Котельников, канд.техн.наук, В.Г.Жуков
(Госгортехнадзор России),*

*А.А.Худошин, канд.техн.наук
(ЗАО НПО «Техкранэнерго», г. Владимир),*

*В.В.Сухоруков, проф., докт.техн.наук
(ООО «Интрон Плюс», г. Москва)*

Стальные канаты относятся к основным элементам конструкции грузоподъемных кранов различных типов. Состояние канатов в значительной степени определяет уровень безопасности крана в целом. При эксплуатации крана на канаты действуют переменные механические нагрузки разного рода, а также такие факторы окружающей среды, как переменная влажность, перепады температур, запыленность, пары агрессивных веществ. В результате происходит накопление усталости проволок, возникает абразивный износ и коррозионные поражения, уменьшающие поперечное сечение каната по металлу. Значительные перепады температур вызывают изменение структурного состояния металла проволок и, как следствие, ухудшение их механических свойств. Все это приводит к снижению запаса прочности каната и возможному его разрушению при нагрузке.

Поскольку канаты не подлежат ремонту, «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» ПБ 10-382-00 установлены предельные нормы браковки, при достижении которых канат подлежит замене (Приложение 13). Критерии и нормы браковки канатов можно разделить на качественные и количественные.

К первым относятся: деформации разных типов, повреждения в результате температурного воздействия или электрического дугового разряда, обрыв пряди или сердечника.

Количественные критерии (нормы) браковки включают в себя: изменение диаметра каната, поверхностный и внутренний абразивный износ и/или коррозия проволок, уменьшение площади поперечного сечения каната по металлу, количество обрывов наружных и внутренних проволок на определенной длине.

Правилами установлено, что состояние канатов должно проверяться при периодическом освидетельствовании кранов, которое выполняется не реже одного раза в год. При проверке канатов используют визуальный и инструментальный контроль.

Визуально определяются деформации и нарушения конструкции каната, наличие наружных обрывов проволок, видимых следов температурных воздействий, коррозии и абразивного износа наружных проволок. Очевидно, что визуальный метод контроля субъективен и позволяет определить состояние каната только относительно качественных критериев. Количественные критерии применяют при использовании инструментальных методов контроля. Так, диаметр канатов и отдельных проволок измеряется инструментами для линейных измерений (штангенциркулем, микрометром).

Для проверки площади поперечного сечения канатов по стали и определения количества обрывов проволок на единицу длины ($6d$ или $30d$, где d – диаметр каната) применяется магнитная дефектоскопия канатов по всей доступной контрольной длине. Метод магнитной дефектоскопии, также относящийся к инструментальным, позволяет получить объективные и документированные данные о потере сечения каната (ПС),

выраженные в процентах от номинального значения площади поперечного сечения каната по стали. Важно, что ПС определяется независимо от вида повреждения проволок каната (абразивный и/или коррозионный износ, обрывы и/или утрата отдельных проволок) и от положения участков поврежденных проволок в канате (на поверхности или внутри каната). Возможно также обнаружение участков каната, подвергавшихся термовоздействию, которое привело к изменению структуры металла.

Таким образом, магнитная дефектоскопия позволяет количественно определить состояние каната в условиях эксплуатации, обнаружить даже скрытые дефекты и определить их местоположение.

Требования к методам, аппаратуре и организации дефектоскопического обследования стальных канатов из ферромагнитной проволоки установлены руководящим документом Госгортехнадзора России «Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения» (РД-03-348-00). Магнитные дефектоскопы стальных канатов выпускаются в России в необходимых количествах, ими оснащены многие инженерные и экспертные центры и крупные промышленные предприятия. Накоплен практический опыт дефектоскопии канатов при техническом освидетельствовании кранов и при проверке состояния подъемно-транспортных установок в горнодобывающей промышленности (1, 2). Так, в течение последних 5 лет российскими предприятиями приобретено более 150 дефектоскопов ИНТРОС производства ООО «Интрон Плюс», подготовлено и аттестовано около 400 специалистов-дефектоскопистов первого и второго уровня.

В силу большого разнообразия конструкций кранов и, соответственно, условий работы канатов, виды их повреждений и местоположение участков наибольшего износа могут различаться весьма существенно. Например, для вантовых канатов башенных кранов характерны коррозионные поражения, приводящие к потере сечения вблизи мест заделки канатов в муфту. Грузоподъемные канаты мостовых кранов чаще всего теряют запас прочности из-за обрывов проволок в зоне уравнильного блока, а в горячих цехах металлургических предприятий – из-за совместного действия термических и механических нагрузок на подвижных блоках полиспастных пар, приводящего к потере сечения и изменению структуры металла проволок.

Практика дефектоскопии канатов требует разработки специальных методик, предназначенных для конкретных ситуаций. Такие методики разрабатываются как производителями, так и пользователями дефектоскопов. В частности, в ООО «Интрон Плюс» по заданию СКТБ БК разработана методика контроля вантовых канатов башенных и порталных кранов. Специфика этой задачи состоит, во-первых, в том, что вантовый канат неподвижен, следовательно, вдоль него необходимо перемещать магнитную головку дефектоскопа. Во-вторых, на опасном участке каната вблизи места его заделки в муфту на показания дефектоскопа значительно влияет ферромагнитная масса муфты, и это влияние надо определить, чтобы скорректировать показания. Работа выполнялась совместно с инженерным центром Архангельского ГТУ (3). Этим же центром разработана технологическая карта дефектоскопии несущих канатов кабельных кранов.

Очевидно, что созданные методики далеко не охватывают всех случаев дефектоскопии канатов грузоподъемных кранов. В настоящее время разработка новых методик продолжается совместно ООО «Интрон Плюс» и инженерными центрами, в частности, ЗАО НПО «Техкранэнерго», г. Владимир, ООО «НПФ Сиблифтсервис».

Следует признать, к сожалению, что дефектоскопия канатов еще не везде и не всегда применяется при техническом освидетельствовании кранов, как того требуют Правила ПБ-10-382-00. Организации и лица, ответственные за техническое освидетельствование, зачастую ограничиваются визуальным контролем канатов. Однако, хорошо известно, что визуально обнаруживаются только поверхностные дефекты каната, а это совершенно недостаточно для правильного определения его состояния. Кроме того, визуальный контроль, в силу своей субъективности, создает возможности для

недобросовестного выполнения инспекционных функций оператором. Да и на самом деле, трудно и почти невозможно тщательно осмотреть канат, со всех сторон покрытый смазкой и грязью, длина которого порой превышает сотни метров.

Перечисленные недостатки визуального контроля канатов в значительной степени объясняют довольно высокий удельный вес обрывов канатов в общей статистике аварий кранов. Так, в 2001 г. из 45 аварий кранов 5 были следствием обрыва канатов, а уже в первом квартале 2002 г. 3 человека погибли из-за обрыва канатов.

Неблагополучное состояние с контролем канатов грузоподъемных кранов на практике убедительно подтверждают два приведенных ниже примера расследования аварий кранов.

22 сентября 2001 г. в г. Химки Московской области произошла авария башенного крана ROTAIN MD-185A, принадлежащего ЗАО «Рентакран». Погиб рабочий. Причина аварии – разрыв грузового каната (каната А) диаметром $d=14$ мм. Канат двухслойный, конструкции $11 \times 7(1+6) + 6 \times 7(1+6) +$ металлический сердечник $1 \times 7(1+6)$, французского производства. Оставшийся после обрыва отрезок каната А длиной около 380 м был подвергнут дефектоскопии прибором ИНТРОС.

На рис. 1 приведены дефектограммы этого отрезка по каналам потери сечения (ПС) и локальных дефектов (ЛД), под которыми подразумеваются, в частности, обрывы проволок. Из дефектограмм следует, что участок наибольшего износа каната находится на расстоянии (0-60) м от места закрепления грузового каната.

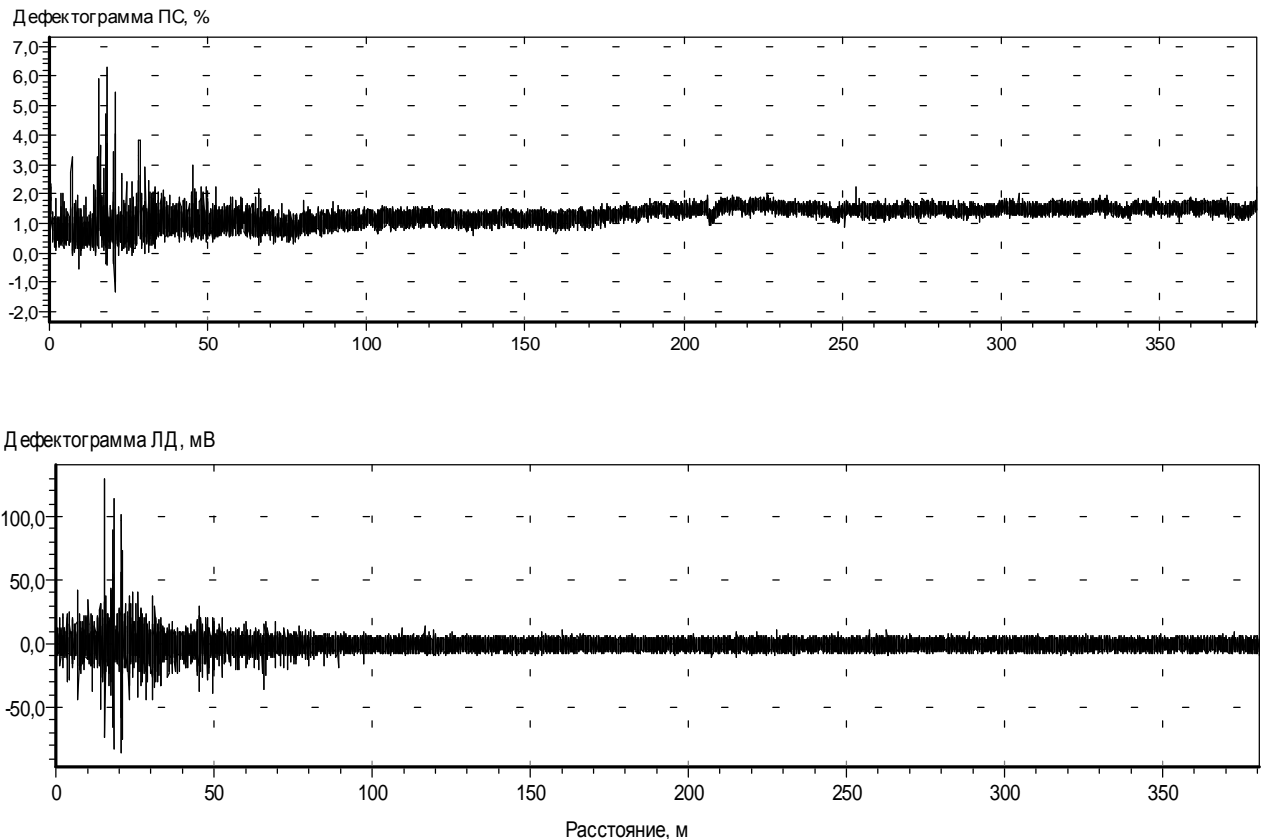


Рис.1. Дефектограммы грузового каната крана ROTAIN MD-185A (каната А)

Потеря сечения каната здесь превышает 6%, имеются множественные обрывы проволок. На рис. 2 приведены дефектограммы участка каната А с координатой (17-21) м

от нулевой точки, из которых следует, что участки с наибольшей плотностью обрывов проволок имеют координаты (17,0-17,7) м – участок 1.1 и (19,4-20,3) м – участок 1.3.

Рис. 3 показывает в увеличенном масштабе дефектограммы участка 1.1 каната А.

При расшифровке дефектограмм рис. 3 было найдено, что количество обрывов проволок превышает 35 на участке 1.1.1 длиной $30d=0,42\text{м}$, что больше предельно допустимого Правилами количества обрывов (8) на длине $30d$.

Таким образом, канат А необходимо было снять с эксплуатации по результатам дефектоскопии.

Для определения характера обрывов участок 1.1.1 был расплетен. Подсчет количества обрывов дал следующий результат:

- обрывов в наружном слое	25
- обрывов во внутреннем слое	88
- обрывов в сердечнике	13
- всего обрывов	126

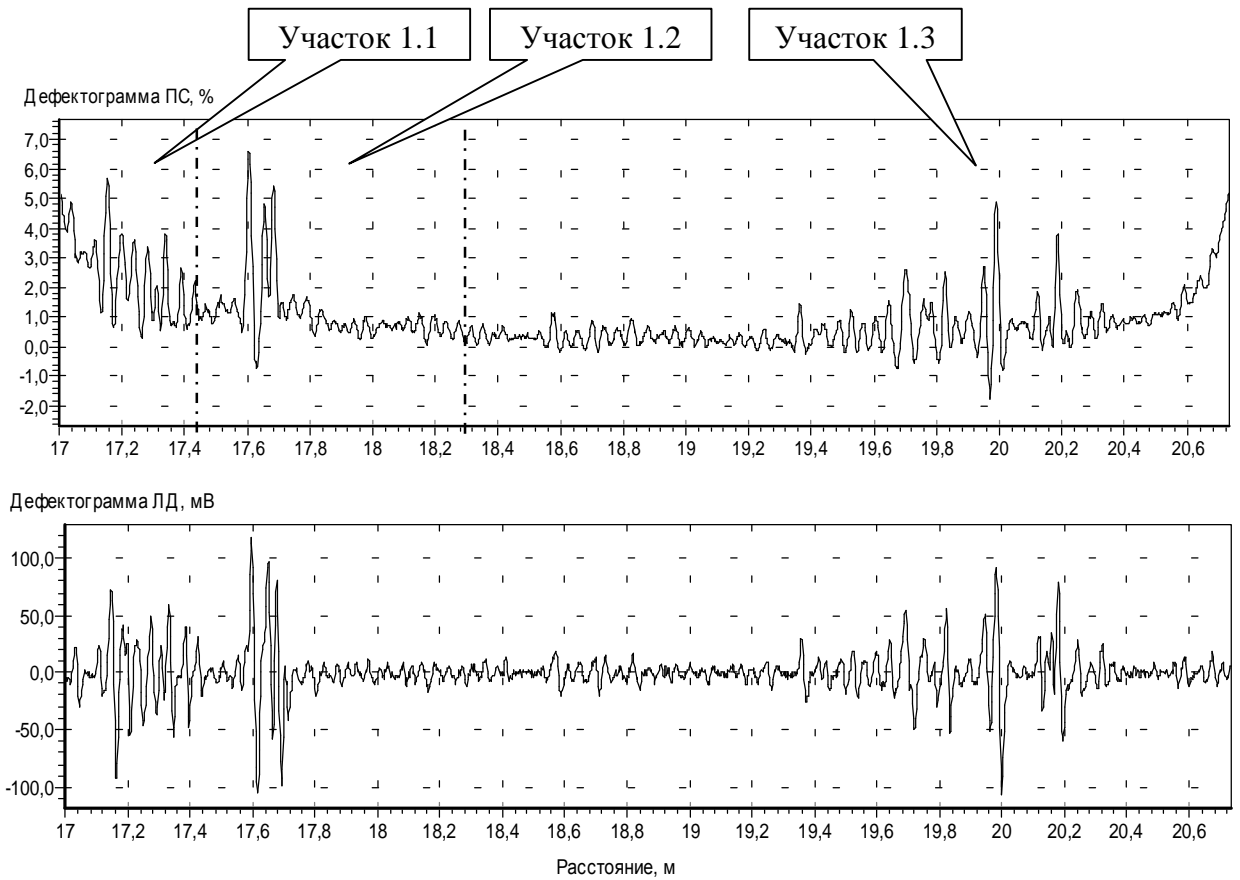


Рис.2. Дефектограммы каната А на участке (17-21) м

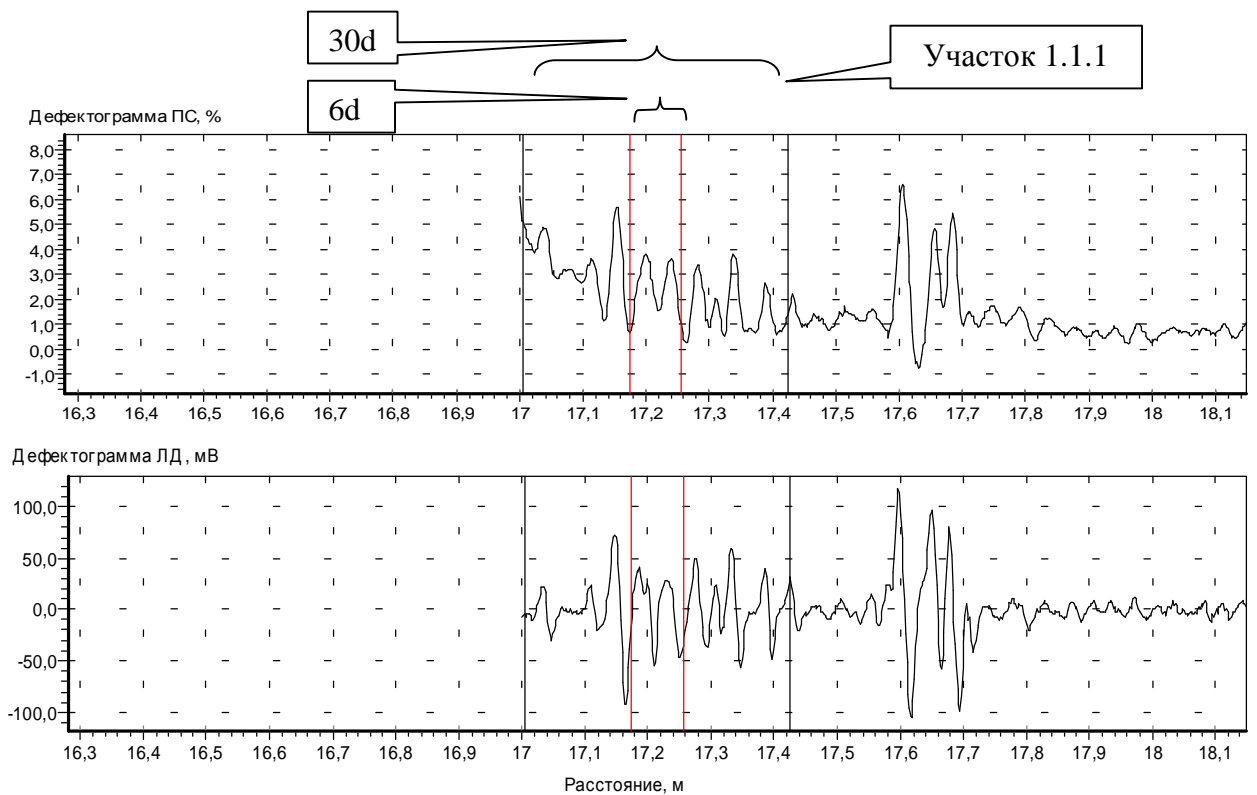


Рис.3. Дефектограммы участка 1.1 длиной 0,42 м каната А

Столь значительное расхождение количества обрывов, обнаруженных при расплетении участка каната и при дефектоскопии, объясняется следующими обстоятельствами.

Во-первых, часть обрывов проволок внутреннего слоя произошла при расплетении каната, т.к. в этих проволоках накопились большие усталостные напряжения в процессе эксплуатации каната. На рис. 4 показаны фрагменты этих проволок. Из приведенного фото видно, что многие проволоки имеют более одного обрыва (до 7). Практически все проволоки внутреннего слоя на этом участке потеряли изгибную упругость и буквально рассыпались при расплетении каната.



Рис. 4. Фрагменты проволок внутреннего слоя каната А

Во-вторых, из-за высокой концентрации внутренних обрывов на исследованном участке (рис. 5) происходило наложение сигналов от обрывов один на другой, что затрудняло их идентификацию.

Результаты разрушающих испытаний отрезков каната А на разрывной машине показали следующее. Прочность на разрыв уменьшилась на 61% по сравнению с данными сертификата для участка 1.2 (дефектограмма рис. 2) и на 49% - для участка 1.3. Заметим, что дефектограммы этих участков сходны с дефектограммой участка 1.1.1. Следовательно, участки 1.2 и 1.3 изношены приблизительно так же, хотя и несколько меньше.

Результаты дефектоскопии (рис. 1) и визуальная проверка (с расплетением) участка каната А с координатами (364-380) м показала отсутствие потери сечения и обрывов проволок. При испытаниях двух фрагментов каната, вырезанных из этого участка, данные сертификата о разрывном усилии отличались от полученных при испытаниях на 3% и 5%.



Рис. 5. Участок 1.1 каната А с частично удаленными прядями наружного слоя

При осмотре каната было установлено, что в нескольких местах имеются групповые обрывы проволок усталостного характера в наружном слое (рис. б), которые в принципе могли быть обнаружены при визуальном контроле в процессе эксплуатации. На практике этого не происходило, поскольку для детального осмотра со всех сторон смазанного каната длиной около 400 м требуется масса времени, в течение которого внимание обследователя неизбежно ослабевает.

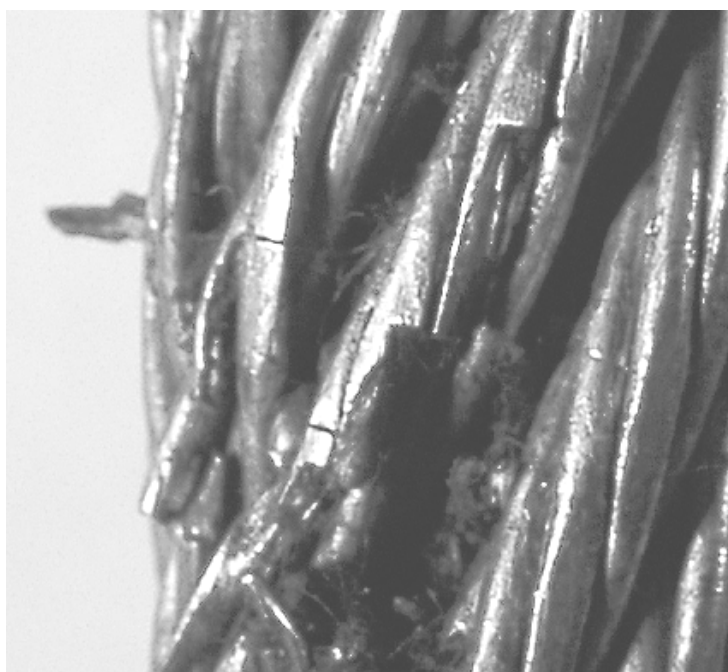


Рис. 6. Обрывы проволок наружного слоя, вызванные усталостью

Было установлено, что наиболее изношенные участки каната работали на блоках крана. Неизношенный участок каната с координатами (364-380) м находился в районе витков трения у барабана и не проходил через блоки в процессе эксплуатации крана.

Таким образом, причина обрыва каната А, вызвавшего аварию, заключалась в недопустимом износе каната. Этот износ мог быть своевременно обнаружен с помощью дефектоскопии, и аварию можно было предотвратить.

В декабре 2001 г. в г. Домодедово Московской области произошла авария самоходного гусеничного крана ДЭК-251, принадлежащего ЗАО СК «Дружба». Погиб человек. Авария произошла из-за обрыва стрелового каната (каната Б). Канат Б диаметром 20 мм имел конструкцию 6х36 (1+7+7/7+14)+1о.с. (ГОСТ 7668-80). Обрыв каната произошел на расстоянии 57 м от точки его крепления к барабану.

На рис. 7 приведены дефектограммы двух фрагментов оборванного каната Б, № 1 длиной 52 м и № 4 длиной 6 м. Дефектограммы соединены между собой с помощью программного обеспечения WINTROS дефектоскопа ИНТРОС. Фрагменты № 2 и № 3 длиной (0,8-0,9) м каждый, содержащие оборванные концы каната, подвергались только визуальному контролю.

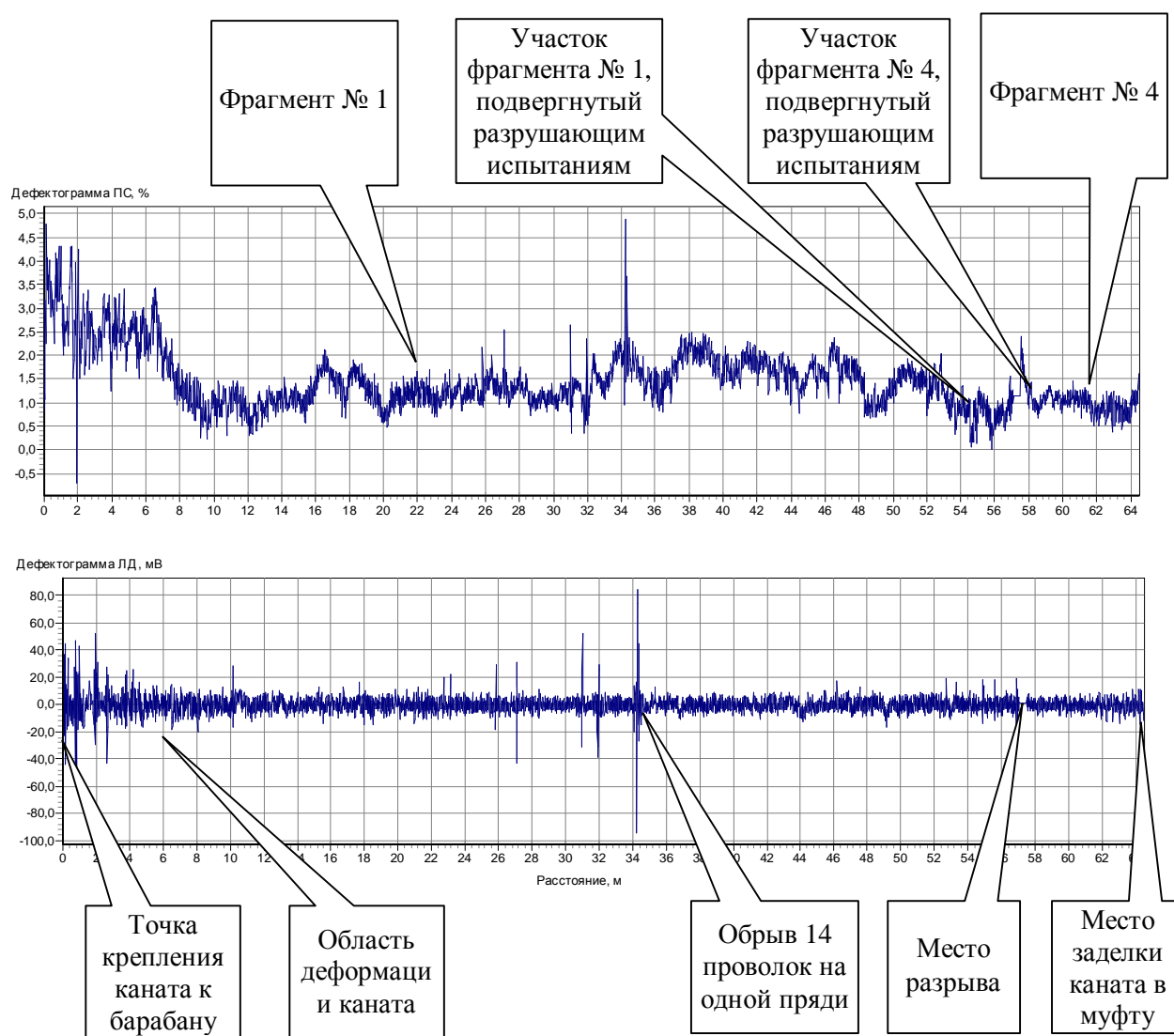


Рис. 7. Дефектограммы стрелового каната крана ДЭК-251 (каната Б)

Из дефектограмм следует, что потеря сечения каната Б не превышает 5%. Наиболее изношены участки каната (0-8) м и 34 м. На первом из них обнаружены обрывы проволок и деформация каната в виде раздавливания прядей. На отметке 34 м видны значительные сигналы, соответствующие не менее, чем 11 оборванным проволокам. На отметках 26, 27, 31 и 32 м обнаружены обрывы от одной до трех проволок. При визуальном исследовании

участка каната (34 м) обнаружено 14 оборванных проволок одной пряди на длине 60 мм (рис. 8), а на длине 6d (120 мм) – 18 оборванных проволок. Характер обрывов свидетельствует о том, что они появились задолго до аварии. Учитывая, что по Правилам для такого каната допускается не более 14 обрывов, канат не мог быть допущен к эксплуатации, тем более, что обрывы были сосредоточены в одной пряди, что усиливает опасность дефекта.

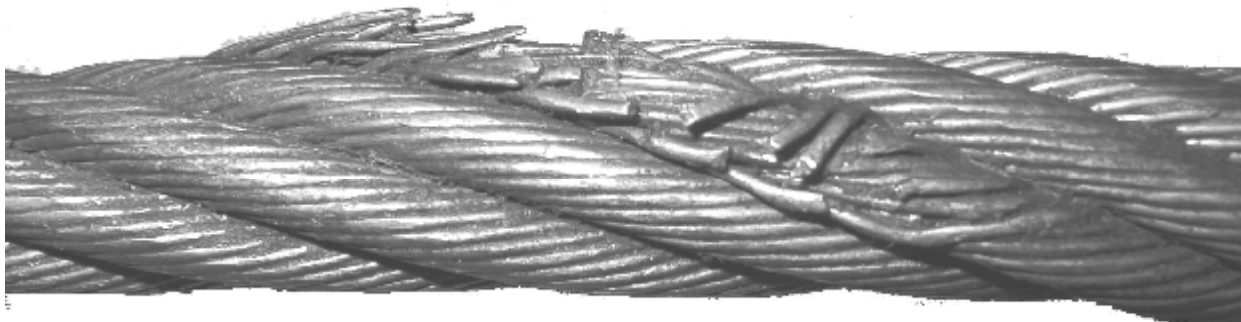


Рис. 8. Обрывы проволок одной пряди каната

Испытания образцов каната Б, вырезанных из фрагментов № 1 и № 4, показали, что суммарное разрывное усилие всех проволок снизилось не более, чем на 7,5% относительно значения по сертификату.

Таким образом, можно утверждать, что причина разрыва каната Б заключалась в сосредоточенных обрывах проволок, аналогичных обнаруженным на отметке 34 м. Действительно, только около 25% оборванных в месте разрушения каната проволок имеют иглообразные окончания, т.е. оборвались под влиянием растяжения. Концы остальных оборванных проволок имеют вид, типичный для усталостного разрушения.

Групповой обрыв проволок на отметке 34 м мог быть обнаружен визуально, однако, как и в предыдущем случае аварии, этого не произошло при эксплуатации каната по той же причине.

С целью выяснения реального состояния канатов кранов в эксплуатации, персоналом ООО «Интрон Плюс» совместно с ЗАО НПО «Техкранэнерго» и ОАО «Вертикаль», г. Москва, было выполнено дефектоскопическое обследование канатов кранов разных типов в Москве и в г. Кольчугино Владимирской обл. В частности, были обследованы грузовые и стреловые канаты мостовых (МК-5), стреловых (КС), автомобильных самоходных (СмК) и башенных (БК-309, БК-405, БК-503, БК-504А) кранов, всего 11 канатов на 8 кранах. Все краны находились в эксплуатации, дефектоскопия выполнялась в рамках работ по очередному техническому освидетельствованию кранов.

Контроль канатов мостовых кранов выполнялся в 3 этапа: контроль левой ветви каната у барабана, контроль правой ветви у барабана, контроль участка каната, работающего на уравнительном блоке. На третьем этапе крюк опускался полностью (до опоры), и канат перетягивался с уравнительного блока вручную для прохождения этого участка каната через магнитную головку дефектоскопа.

По результатам дефектоскопии 3 из 11 проверенных канатов (27%) были запрещены к дальнейшей эксплуатации из-за превышения допустимого количества обрывов проволок на 6d и недопустимой потери сечения. Из-за этого работа 3 из 8 кранов была остановлена (37%).

На рис. 9 приведены дефектограммы участка стрелового каната диаметром 16 мм (ГОСТ 2688-80) башенного крана БК-309. Этот участок находится у барабана в моменты подъема (опускания) стрелы при нагруженном кране. Потеря сечения доходит до 27% (допустимо 17,5%), количество обрывов также больше допустимого.

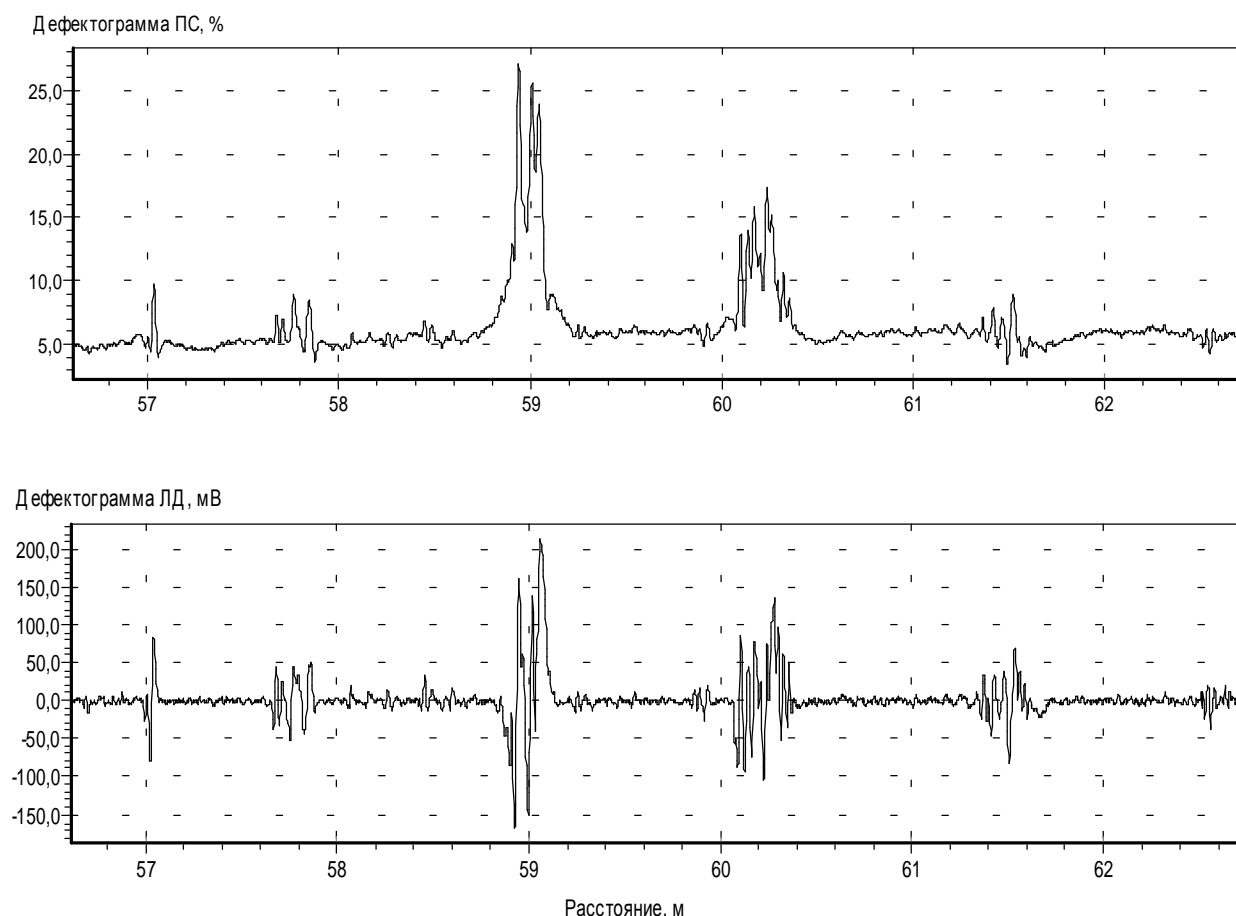


Рис.9. Дефектограммы участка стрелового каната башенного крана БК-309

Канат мостового крана забракован по превышению допустимого количества обрывов проволок на участке, постоянно работающем на полиспаственном блоке. Участок, работающий на уравнительном блоке, также имеет повышенный износ и содержит обрывы проволок, однако в пределах допустимых значений.

Сходные статистические данные получены и другими организациями, использующими дефектоскоп ИНТРОС. В частности, ГУП «Трансэнерго», г. Снежинск: проверено 49 канатов мостовых, козловых, башенных кранов и кранов-балок, забраковано 11 канатов (22,4%).

Выводы

Магнитная дефектоскопия канатов грузоподъемных кранов позволяет повысить безопасность эксплуатации кранов благодаря объективной, достоверной и документированной оценке фактического состояния канатов и своевременной замене недопустимо изношенных и поврежденных канатов.

Дефектоскопическое обследование канатов кранов, находящихся в эксплуатации, показывает, что визуальный контроль, даже если он добросовестно выполняется (что

бывает далеко не всегда), не может обеспечить определение степени износа канатов: потери сечения по металлу, полного количества обрывов проволок (включая внутренние), обнаружения участков недопустимого термического воздействия. При дефектоскопии обследователь не может ограничиться субъективным заключением о состоянии каната, как при визуальном контроле, т.к. дефектоскоп выдает документ в виде отчета стандартной формы. Обнаружив аномалии в отчете и дефектограммах, обследователь обязан детально их описать после визуального и инструментального контроля. Таким образом, дефектоскопия оказывает также дисциплинирующее воздействие на обследователя, уменьшая роль человеческого фактора при техническом освидетельствовании крана.

Статистика выполненного в рамках данной работы обследования канатов достаточно красноречива: эксплуатация четверти всех проверенных канатов действующих кранов недопустима. А участие в расследовании двух аварий кранов в 2001 г. показало, что аварии можно было предотвратить и не допустить гибели людей, если бы требования Правил выполнялись неукоснительно, и канаты были бы своевременно проверены дефектоскопом.

Поэтому очевидна необходимость включения четких требований по дефектоскопии канатов кранов в разрабатываемый руководящий документ по техническому обслуживанию грузоподъемных кранов, который должен прийти на смену РД-10-112-96.

Список литературы

1. Зубрилов А.Н. Опыт применения дефектоскопа «ИНТРОС». – Безопасность труда в промышленности, № 7, 1999, с. 11.
2. Ильин А.М., Антипов В.Н., Богданов М.Н., Голубчиков В.М., Вейде О.Ю. Дефектоскопия стальных канатов шахтных подъемов. – Безопасность труда в промышленности, № 2, 2000, с. 37-40.
3. Жуков В.Г., Богданов Е.А., Клюев В.А., Шпаков И.И., Хоменко С.В. Определение износа вантовых канатов порталных и башенных кранов в местах их заделки в муфты с применением дефектоскопа ИНТРОС. – Безопасность труда в промышленности (в печати).

За дополнительной информацией обращайтесь в ООО «Интрон Плюс»
Красноказарменная ул., 17, г. Москва, 111250
Тел./факс (095)362-56-38, 362-74-98
info@intron.ru <http://www.intron.ru>