



# Техническая диагностика стальных канатов в добывающей промышленности: от дефектоскопии к автоматизированному мониторингу

Стальные канаты используются во многих сооружениях и устройствах, применяемых в добывающей промышленности. Техническое состояние канатов играет важную роль в обеспечении безопасности этих объектов. Для технического диагностирования канатов широко используются методы и средства НК, прежде всего магнитный НК. Мониторинг канатов автоматизированными средствами НК создает условия для повышения безопасности эксплуатации буровых установок, шахтных подъёмов, заливочных кранов металлургических производств и других опасных объектов. С другой стороны, возникает существенный экономический эффект благодаря более полному использованию ресурса каната, исключению временной остановки технологического процесса объекта для контроля каната, сокращению численности квалифицированного персонала для выполнения НК. Создание автоматизированных средств НК для мониторинга канатов невозможно без удовлетворения таких требований, как высокая надёжность аппаратуры в сложных условиях, разработка специализированного программного обеспечения и решения других задач. В качестве примера рассмотрен автоматизированный магнитный дефектоскоп канатов ИНТРОС-АВТО и опыт его применения на различных опасных объектах. Показана своевременность создания нормативно-технической базы по мониторингу и автоматизированному диагностированию стальных канатов.

Submitted 28.06.19

Accepted 29.07.19

**СУХОРУКОВ**  
**Василий Васильевич**

Президент ООО «ИНТРОН  
ПЛЮС», Москва.

Профессор, д. т. н.,  
Ш уровень квалификации  
по электромагнитному,  
магнитному и вихрево-  
ковому видам контроля.  
Лауреат Государственной  
премии РФ в области  
науки и техники (1997 г.),  
академик Международной  
Академии НК

V. V. Sukhorukov<sup>1</sup>

## Technical Diagnostics of Steel Ropes in Extractive Industry: from Flaw Detection to Automated Monitoring

Steel ropes condition of various devices and constructions plays a significant role for the safety use of the objects. The inspection and diagnostics experience of ropes as parts of hazardous objects are taken into account in relevant norms and rules. Methods and means of non-destructive testing are wide used for diagnostics. They are very effective in the various use conditions and allow to automate diagnostics process and to go on to the rope condition monitoring. The monitoring by automated means of rope NDT makes condition for rise of safety use of drilling rigs, mine hoists, ladle cranes and other hazardous objects. Significant saving rate arises due to full use of rope lifetime, to reduction of the work process time break for rope inspection, to highly skilled NDT staff reduction.

It is necessary to meet such requirements as high instrument reliability at hard conditions, development of special software and other problems solution to get the automated NDT means for rope monitoring. The automated magnetic flaw detector INTROS-AUTO and its use experience at various hazardous objects is considered as an example. Regulation and norm base on monitoring and automated diagnostics of steel ropes are needed to be created.

*Keywords: technical condition monitoring, steel ropes, technical diagnostics, automated non-destructive testing, magnetic rope testing, flaw, flaw detector*

### Стальные канаты и их техническое диагностирование

Стальные канаты применяются в составе важных технических устройств и сооружений в добывающей промышленности, относимых к опасным объектам, например, в шахтных подъёмных установках (ШПУ), на буровых установках (БУ) и грузовых канатных дорогах. Степень безопасности таких объектов в значительной мере зависит от технического состояния (ТС) применяемых канатов, относящихся к расходным материалам, т. к. они не подлежат ремонту.

В процессе эксплуатации канаты изнашиваются и повреждаются под влиянием внешних воздействий (абразивный износ, коррозия, усталость металла проволок и др.). В результате снижается запас прочности канатов и возникает реальная опасность их обрыва, который может привести к авариям, нередко связанным с нанесением вреда здоровью людей и со значительными материальными потерями. Для предотвращения аварийных ситуаций ТС канатов периодически контролируют визуально и с помощью магнитных дефектоскопов. Это позволяет обнаруживать основные

дефекты канатов, снижающие их прочность: потерю металлического сечения из-за коррозии и абразивного износа, а также обрывы отдельных проволок. К главным критериям отбраковки канатов относятся предельно допустимые значения потери сечения (ПС), представляющие распределённый вдоль каната дефект, и количество обрывов проволок на заданной длине каната, что является локальным дефектом (ЛД), например,  $6D$  или  $30D$ , где  $D$  — диаметр каната. Эти критерии установлены отечественными [1] и международными [2] нормативами. При НК каната магнитными

<sup>1</sup> INTRON PLUS Ltd., Moscow, Russia; vsukhorukov@intron.ru

дефектоскопами регистрируют значения ПС и определяют наличие и положение ЛД практически по всей длине каната, как на его поверхности, так и внутри. Магнитный неразрушающий контроль (МНК) стальных канатов широко и с успехом применяется многие десятилетия во всем мире, в том числе и в России, где его использование регламентировано [3]. Обобщение опыта МНК канатов грузоподъемных кранов, шахтных подъемов, канатных дорог, вантовых мостов, оттяжек антенно-мачтовых сооружений и газовых факелов, проводов линий электропередач и т.д. приводит к выводу о своевременности перехода к техническому диагностированию канатов на основе данных мониторинга автоматизированными средствами НК (термин «техническое диагностирование» (ТД) понимается в соответствии с ГОСТ 20911–89 [4] как «определение состояния технического объекта»). Если в результате НК получают информацию о тех или иных свойствах и параметрах технического объекта, то результатом ТД по [4] должно быть определение вида его ТС: исправное, работоспособное, неисправное, неработоспособное и т.д. К задачам ТД относятся: контроль ТС; поиск места и определение причин отказа; прогнозирование ТС. А контроль ТС понимается как «проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов ТС в данный момент времени» [4]. Особое значение имеет задача прогнозирования ТС, в частности, определение остаточного ресурса.

Поскольку ТС объекта изменяется со временем по-разному в зависимости от условий эксплуатации, для достоверного определения вида ТС требуется обновление данных с некоторой частотой, при этом достоверность возрастает с увеличением частоты. В случае традиционного НК это приведёт к возрастанию экономических затрат (из-за потерь от прерывания технологического процесса, затрат на контроль и др.) порой до недопустимого уровня. Кроме того, увеличение объёма данных НК приводит к росту трудозатрат на их расшифровку и обработку. Частота обновления данных НК должна возрастать с увеличением наработки объекта, т.к. с приближением к предельному состоянию скорость износа резко увеличивается. Решить возникающие проблемы можно применением автоматизированного мониторинга средствами НК. В этом

случае получение данных о ТС объекта, их обработка и представление результатов ТД выполняются с минимальным участием персонала, либо полностью автоматически. В технической диагностике под мониторингом понимают непрерывный процесс сбора и анализа информации о значении диагностических параметров состояния объекта. Непрерывность этого процесса предполагает, что значения параметров, получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, существенно не изменяются. Эти интервалы могут быть весьма различны и определяются для каждого объекта.

Поскольку канаты не подлежат ремонту, то они должны своевременно выводиться из эксплуатации с последующей заменой, если их прочность снижается до недопустимого уровня. Допустимый уровень запаса прочности каната устанавливается исходя из назначения, условий применения и степени риска аварий из-за его отказа. Прочность каната на разрыв, определяемая разрывным усилием, зависит от площади его поперечного сечения (по стали), прочности отдельных проволок, количества обрывов и их локации вдоль оси каната. Для большинства типов конструкций канатов установлены критерии их браковки по предельно допустимым значениям потери сечения (ПС) и количества обрывов проволок (локальных дефектов, ЛД) на заданной длине. Эти критерии приведены в нормативно-технических документах (НТД) [1, 2, 5, 6]. В этих НТД не учитывались важные данные об износе внутренних проволок каната, поскольку отсутствовали технологии обнаружения и количественной оценки этого износа методами НК. Поэтому в расчёты вводились определенные «запасы на незнание». И хотя практика эксплуатации канатов в течение десятилетий подтверждает приемлемость такого подхода, сегодняшние возможности НК канатов позволяют контролировать их текущее ТС на основе прямых расчётов прочностных параметров с учетом влияния дефектов, как наружных, так и внутренних. Такой подход более достоверен и позволяет снизить уровень «незнания».

#### **Автоматизированные средства технического диагностирования канатов**

Автоматизированные средства (АС) НК для мониторинга канатов должны собирать данные о наличии или отсутствии дефектов заданного вида [4],

определять параметры этих дефектов и их локацию, сравнивать полученные данные о дефектах с установленными критериями браковки канатов и выдавать сигналы о результатах этого сравнения. Кроме того, данные о наличии, параметрах, локации дефектов и динамики их развития могут быть использованы для оценки ТС канатов программными средствами, реализующими расчёты прочностных параметров канатов. Таким образом, можно применять оба критерия оценки ТС: как по существующим нормам критерия браковки (по значениям ПС), количеству и локации ЛД, так и по параметрам прочности.

В магнитных дефектоскопах стальных канатов используется метод регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих вблизи нарушений однородности намагниченного каната из ферромагнитной стали [7]. Этот метод называют методом потоков рассеивания или методом MFL (Magnetic Flux Leakage). Современные магнитные дефектоскопы канатов обычно имеют два или более информационных канала регистрации потери сечения и канал регистрации локальных дефектов. В качестве датчиков метода MFL используют магниточувствительные датчики Холла и /или индуктивные катушки. При установке одновременно обоих типов датчиков информация от них используется по отдельным для каждого типа каналам и представляется в виде дефектограмм [7], которые требуют участия квалифицированного персонала для их расшифровки, идентификации дефектов, определения их параметров и принятия решения о виде ТС каната. В АС НК эти функции должны выполняться без участия персонала, автоматически. В этом случае оператор объекта, в состав которого входят диагностируемые канаты, должен быть в состоянии обслужить дефектоскоп (например, удостовериться в его работоспособности) и воспользоваться его выходными сигналами. Помимо очевидного сокращения затрат на оплату труда квалифицированных дефектоскопистов, создаются реальные условия для мониторинга ТС канатов на таких объектах, как буровые установки, порой значительно удалённые от своих баз, или краны морских оффшорных платформ. Автоматизация процесса НК, мониторинга и диагностирования ТС путём передачи функций дефектоскописта АС НК имеет принципиальное значение для повышения безопасности объектов контроля, использующих канаты, т.к. позволяет реализовать

непрерывное (или частое) отслеживание ТС канатов без увеличения постоянных затрат на оплату труда дефектоскопистов. Одновременно повышается достоверность результатов НК и ТД за счёт исключения субъективного фактора при расшифровке дефектограмм, идентификации дефектов и определения их параметров человеком. Имеет значение также то, что результаты НК и ТД можно получать непрерывно в режиме онлайн и использовать для ТД опасного объекта в целом (например, шахтного подъёма или канатной дороги), если АС НК интегрировано в систему ТД этого объекта.

Режим мониторинга создаёт дополнительные требования к средствам НК: повышенная надёжность и износоустойчивость, длительная непрерывная работа практически без обслуживания, автоматизация процесса обработки и представления данных мониторинга. Последнее требование очень важно, оно относится к программному обеспечению и весьма непросто в реализации.

Конечно, мониторинг канатов АС НК требует определённых затрат при его введении. Сюда входят затраты на приобретение и установку этих средств, их обслуживание, разработку внятных инструкций и т.д. И хотя эти затраты быстро окупаются, целесообразность мониторинга должна быть хорошо обоснована. Представляется, что мониторинг канатов вполне оправдан для таких опасных объектов, как шахтные подъёмы, буровые установки, краны морских оффшорных платформ, для которых обрыв каната может привести к тяжёлым последствиям для персонала, экологии, бизнеса [8].

Мониторинг стальных канатов средствами МНК применяется на практике сравнительно недавно. В России в конце 1990-х — начале 2000-х гг. мониторинг канатов магнитными приборами ИНТРОС начали применять на Норильском горно-металлургическом комбинате (НГМК) [9]. Поскольку ИНТРОС — неавтоматизированный дефектоскоп и требует участия специалистов для расшифровки данных контроля, процесс мониторинга был дискретным, а не непрерывным. Тем не менее, удавалось отслеживать динамику износа канатов ШПУ путём сравнения данных с интервалами в несколько месяцев (или в несколько десятков тысяч циклов подъёма — спуска). Мониторинг канатов ШПУ примерно в это же время ввели в практику НК в Германии [10] и в ЮАР [11], где работы по созданию автоматизиро-

ванной системы ТД канатов ШПУ продолжают.

При создании магнитного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО как средства автоматизированного диагностирования канатов в режиме мониторинга за основу был принят хорошо зарекомендовавший себя дефектоскоп ИНТРОС, широко применяемый в России и за рубежом. Задача повышения износоустойчивости и надёжности магнитной головки (МГ) прибора, навешиваемой на контролируемый канат, решена изменением её конструкции. МГ для талевых канатов БУ снабжена двумя парами направляющих роликов для предотвращения механического контакта каната с поверхностью её внутреннего канала, вызывающего его фрикционный износ. В головке применены металлические вкладыши в отличие от пластиковых в головках приборов ИНТРОС.

Головка для канатов заливочных кранов работает в наиболее тяжёлых условиях: высокая температура; сильное загрязнение каната порошком технологического графита с включениями ферромагнитных частиц от фрикционного износа каната и др. В то же время головка постоянно размещена на канате, т.к. зона установки труднодоступна. Это создаёт условия для непрерывного мониторинга, но и требует, чтобы конструкция была простой и надёжной. Направляющие ролики не требуются, т.к. радиальные смещения каната в зоне установки головки незначительны, в отличие от случая установки на БУ.

Сигналы магнитных головок передаются в блок управления и индикации (БУИ). Он также отличается от электронного блока прибора ИНТРОС ударопрочным корпусом и более простой индикацией: три световых сигнала (зелёный, жёлтый, красный) и текстовый дисплей.

Важнейшая часть ИНТРОС-АВТО — встроенное программное обеспечение (ПО). Оно производит сбор данных с 6 измерительных преобразователей МГ и расчёт текущих значений потери сечения и локальных дефектов по каналам ПС, ЛД1 (датчики Холла) и ЛД2 (индуктивные катушки). Данные каналов фильтруются в реальном времени для снижения уровня помех (для каждого канала установлен свой фильтр). Для каналов ЛД1 и ЛД2 установлены специальные фильтры для выделения сигналов от обрывов проволок, которые сравниваются с пороговыми значениями, устанавливаемыми в процессе настройки дефектоскопа на канат. В процессе контроля производится не-

прерывное скользящее суммирование числа обрывов на опорную длину каната (например, 30D), а также сравнение текущей суммы с допустимым числом обрывов для данного типа каната (тип выбирается при настройке): критическим и предкритическим. Текущее значение ПС также сравнивается со своим допустимым значением. При превышении допустимого значения ПС или ЛД загорается жёлтый или красный индикатор в зависимости от типа порога. Все события по обнаружению обрывов или при превышении какого-либо заданного уровня записываются в файл результатов контроля.

В процессе настройки на конкретный канат встроенное ПО выполняет расчёт калибровочной характеристики по каналу ПС и настройку чувствительности и порогов по каналам ЛД1 и ЛД2. БУИ дает оператору указания по выполняемым операциям и контролирует полученный результат. В случае появления ошибок выдаются соответствующие сообщения. При подключении внешнего одометра и измерителя веса (нагрузки каната) ПО рассчитывает наработку каната в тонно-километрах и запись текущего значения в файл. Результат ТД каната, реализуемого дефектоскопом ИНТРОС-АВТО, представляется в виде световых сигналов («светофор», соответствующий одному из трёх видов ТС: зелёный — работоспособное (исправное); жёлтый — ограниченно работоспособное (ограниченно исправное); красный — неработоспособное (неисправное)). Данные мониторинга и ТД каната сохраняются в памяти БУИ и могут быть переданы по кабелю или радиосигналу в ПК для обработки и интерпретации посредством ПО Wintros, предназначенного для работы с неавтоматизированным дефектоскопом ИНТРОС. Эти же данные можно использовать для расчёта и оценки текущего запаса прочности каната с помощью специального ПО Rope Strength, разработанного компанией ИНТРОН ПЛЮС. Алгоритм расчета выглядит следующим образом [12].

Рассчитывают показатели прочности для трёх вариантов: каната без дефектов, каната с диагностированной ПС и каната с выявленными ЛД (обрывы проволок). В каждом случае сначала вычисляют деформации и напряжения растяжения, изгиба и кручения в проволоках каната. Затем по соответствующему критерию прочности определяют максимальные эквивалентные напряжения  $\max_{\text{ЭКВ}}$  в наиболее напряжённой проволоке и рассчитывают коэффициент

запаса прочности  $n = \sigma_b / \max \sigma_{\text{экв}}$ , где  $\sigma_b$  — табличное значение предела прочности материала проволок.

Относительными показателями снижения прочности каната, ослабленного потерей площади по металлу  $\Delta F$  и обрывами проволок числом  $A$  являются параметры  $\chi_{\Delta F}$  и  $\chi_A$ :

$$\chi_{\Delta F} = 1 - n_{\Delta F} / n_0; \chi_A = 1 - n_A / n_0,$$

где  $n_{\Delta F}$  и  $n_A$  — коэффициенты запаса прочности каната с дефектами;  $n_0$  — коэффициент запаса прочности неповрежденного (нового) каната. Показатели снижения прочности определяют независимо. Результирующую потерю прочности в любом сечении каната оценивают как суперпозицию потерь:  $\chi = \chi_{\Delta F} + \chi_A$ .

Коэффициент запаса остаточной прочности каната с дефектами определяют соотношением:  $\tilde{n} = n_0(1 - \chi)$ .

На рис. 1 показано изменение коэффициента запаса прочности  $\tilde{n}$  каната с ростом наработки  $N$ , рассчитанное по данным дефектоскопии талевого каната БУ ООО «Таргин Бурение» Западно-Сибирской экспедиции глубокого бурения [12, 13].

Зелёные кружки соответствуют работоспособному состоянию талевого каната (инспекции №№ 1–5). При инспекции № 6 загорелся жёлтый (предупреждающий) сигнал, при инспекции № 7 — красный сигнал (предварительный), что соответствует практически полному исчерпанию несущей способности, когда запас прочности близок к предельно допустимому значению, равному единице (красная линия). После этого была выполнена перетяжка каната на 270 м, что соответствует выводу из-под нагрузки изношенного участка каната.

Приведённый пример показывает, как реализуется оценка ТС каната в режиме мониторинга; вид ТС определяется сравнением текущего значения коэффициента запаса прочности каната  $\tilde{n}$  с предельно допустимым значением

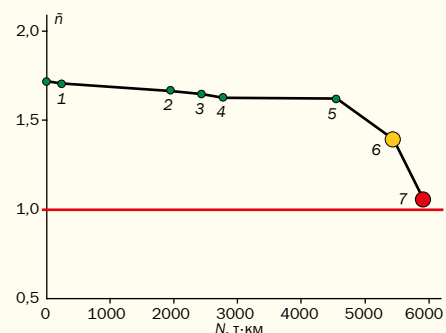


Рис. 1. Изменение коэффициента  $\tilde{n}$  запаса прочности каната в ходе эксплуатации

$\tilde{n}_{\text{доп}}$ , и по результатам сравнения принимается решение. Деградация каната неравномерна во времени (рис. 1): начиная с некоторых значений наработки, она резко нарастает, т.е. коэффициент  $\tilde{n}$  убывает, приближаясь к единице. Таким образом, мониторинг каната автоматизированным дефектоскопом позволяет определить момент начала резкого ухудшения ТС каната и принять соответствующие меры по обеспечению безопасности работы БУ, а также оценить остаточный ресурс каната, не допуская его преждевременной перетяжки или замены. Расшифровка данных мониторинга, расчёты текущих значений параметров ТС каната и определение вида ТС по предельным характеристикам дефектности или прочности каната переходят от человека к аппаратуре, что позволяет избежать необходимости привлечения квалифицированных специалистов при выполнении контроля.

### Применение автоматизированного магнитного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО в добывающей промышленности

Автоматизированный магнитный дефектоскоп для мониторинга стальных канатов ИНТРОС-АВТО в 2014 г. утверждён как тип средства измерений Федерального агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) и допущен к вводу в эксплуатацию в Республике Казахстан. Он соответствует техническому регламенту Таможенного Союза «О безопасности оборудования во взрывоопасных средах».

Созданию ИНТРОС-АВТО предшествовала большая работа по обоснованию целесообразности мониторинга ТС талевых канатов. В 2010 г. специалистами ООО «ИНТРОН ПЛЮС» были протестированы талевые канаты 53 БУ и подъёмников для ремонта скважин с применением магнитного дефектоскопа ИНТРОС в ручном режиме. В результате 25% находившихся в эксплуатации канатов тринадцати БУ оказались неработоспособными, хотя и не достигли регламентных сроков перетяжки. До проведения дефектоскопии канаты контролировались только визуально, что не обеспечивало необходимый уровень безопасности БУ.

Совместная работа с буровыми компаниями привела к созданию концепции мониторинга ТС канатов на БУ и к разработке технических требований к автоматизированному дефектоскопу канатов. В 2013 г. были проведены успешные эксплуатационные испы-

тания образца прибора на действующих БУ, а в 2014 г., после сертификации в рамках Таможенного Союза, началось его серийное производство и поставка буровым компаниям.

Измерительное устройство — магнитная головка дефектоскопа подвешивается вблизи барабана лебёдки БУ, так, чтобы её можно было легко привести в рабочее положение путём навешивания на контролируемый канат (рис. 2б [12]). По окончании контроля головка снимается с каната и отводится в положение хранения. Вся процедура контроля занимает 10–15 мин и выполняется персоналом буровой бригады без участия специалиста по НК. Результат контроля отображается световыми сигналами («светофор») БУИ в кабине буровищика (рис. 2в). Контроль ТС талевых канатов выполняют обычно раз в смену. При необходимости буровой мастер назначает более частый контроль.

Дефектоскоп ИНТРОС-АВТО [12–15] удобен и надёжен в эксплуатации, его применение для мониторинга ТС талевых канатов БУ не вызывает существенных потерь времени бурения, позволяет определять текущий уровень работоспособности канатов, не привлекая аттестованных специалистов по НК и не допуская преждевременной замены или перетяжки работоспособных канатов.

Особенность применения автоматизированных дефектоскопов на шахтных подъёмных установках (ШПУ) состоит в том, что эти установки часто бывают многоканатными. Поэтому с целью сокращения времени контроля всех канатов применяют установку двух магнитных головок на каждый канат [16, 17], а соединённые с ними кабелями БУИ размещают в кабине оператора подъёма, например, для шестиканатной ШПУ требуется 12 дефектоскопов ИНТРОС-АВТО [16].



Рис. 2. Автоматизированный дефектоскоп ИНТРОС-АВТО на буровой установке (а); магнитная головка на канате у барабана лебёдки (б); блок управления и индикации в кабине буровищика (в)



Применение АС НК канатов позволяет интегрировать эти средства в общую систему мониторинга ТС канатов объекта и в систему безопасности объекта в целом. Такой подход разрабатывался компанией Ansys Ltd. для ШПУ глубоких (около 4000 м) золотодобывающих шахт в ЮАР [11]. На рис. 3 показана схема непрерывного мониторинга канатов двух четырёхканатных ШПУ (скиповой и людской), на которых показано размещение магнитных головок на канатах и каналы (оптоволоконные линии) передачи информации от головок к серверу хранения данных мониторинга и в систему определения ТС канатов. После обработки «сырых» данных информация в виде сигналов «светофора» поступает к машинистам подъёмов, а также в Интернет и в радиоканал GPRS.

Развитие технологий мониторинга ТС канатов в нашей стране и за рубежом идёт ускоряющимися темпами в разных областях. Накоплен практический опыт создания и применения этих технологий, сделаны первые шаги по созданию регламентирующей НТД. Вместе с тем, в области стандартизации подходов к НК канатов в России наблюдается явное отставание, так ГОСТ 33718–2015 «Краны грузоподъемные. Проволочные канаты. Уход и техническое обслуживание, инспекция и браковка», разработанный с учётом основных нормативных положений ISO 4309:2010, введён в действие в РФ в 2017 г. В том же году 4-я редакция ISO 4309:2010 была заменена ISO 4309:2017 (5-я редакция) [2], в котором впервые были введены рекомендации по применению магнитного НК канатов, отсутствовавшие в предыдущих редакциях.

## Выводы

Мониторинг технического состояния стальных канатов автоматизированными средствами — современная передовая технология повышения безопасности объектов, использующих канаты. Технология оказывается весьма востребованной, если предлагающая её компания в состоянии выполнять полный цикл работ, в том числе:

- техническая диагностика стальных канатов, резинолент, конвейерных лент, стальных резервуаров и сосудов;
- ежегодная поверка и калибровка поставляемого оборудования;
- подготовка и аттестация специалистов по контролю канатов, резинолент, стальных листов на первый и второй уровень;
- техническое гарантийное и послегарантийное обслуживание поставляемого оборудования.

Опыт компании «ИНТРОН ПЛЮС», магнитные дефектоскопы которой используются более чем в 70 странах, в том числе в России, Казахстане, Украине, Литве, Туркменистане, Азербайджане, Беларуси, Великобритании, США, Германии, Италии, Канаде, Франции, Китае, Японии, Бразилии, Голландии, Иране, Малайзии, Сингапуре, Латвии, Эстонии, Индии, ОАЭ, Румынии, Индонезии, а подготовка специалистов ведётся на русском, английском, испанском и португальском языках, показал правильность такого подхода, а накопленный практический опыт мониторинга канатов на различных объектах доказывает, что наряду с повышением безопасности можно получать и значительный экономический эффект.

## Литература

1. Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения: Федер. нормы и правила в обл. промбезопасности. Сер.10. Вып. 81. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 314с.
2. ISO 4309:2017.8. Cranes-Wire Ropes-Care, Maintenance, Installation, Examination and Discard. — Berlin: Beuth Verlag, 2017.
3. РД 03-348-00. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения. Сер. 10. Вып.7. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017, с. 14–35.
4. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. — М.: Стандартиформ, 2009.
5. Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулёров: Федер. нормы и правила в обл. промбезопасности. Сер.10. Вып.84. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. — 152 с.
6. EN 12927-8-2005. Safety requirements for cableway installations designed to carry persons — Ropes. Part 8: Magnetic rope testing (MRT).
7. Сухоруков В.В., Котельников В.С. НК и диагностика состояния стальных канатов. — В мире НК. 2006. № 2 (32). С. 8–9.
8. Sukhorukov V.V., Slesarev D.A., Vorontsov A.N. Electromagnetic Inspection and Diagnostics of Steel Ropes: Technology, Effectiveness and Problems. — Materials Evaluation. 2014. V. 72. No 8. P. 1019–1027.
9. Sukhorukov V., Mironenko A. Monitoring of Mine Hoist Ropes at the Norilsk Nickel Company. — In: Proc. of the Internat. Conf. «Mining Transport». — Szczyrk, Poland, 24–26 Sept. 2003, p. 111–118.
10. Gronau O., Belitsky S., Sukhorukov V. NDT of Steel Ropes with Magnetic Flaw Detectors: Documentation and Interpretation of Test Results. — In: Proc. of the 15<sup>th</sup> WCNDT. — Rome, 16–21 Oct. 2000.
11. Marias J., Bester N. A Holistic Approach to Continuous Rope Monitoring. — In: OIPEEC Conf. Proc. — Texas, USA, March 2011.
12. Слесарев Д.А., Потехин О.П., Шпаков И.И. и др. Мониторинг технического состояния талевых канатов буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения нефтяных и газовых скважин: технология, эффективность, перспективы. — Безопасность труда в промышленности. 2018. № 6. С.12–22.
13. Потехин О.П., Шпаков И.И. Мониторинг технического состояния талевых канатов с применением магнитных дефектоскопов как средство безопасности эксплуатации буровых установок. — Бурение и нефть. 2016. № 1. С. 52–58.
14. Slesarev D., Sukhorukov V., Semenov A. Application of MFL nondestructive testing for automated rope condition monitoring. — In: 11th ECNDT, Prague, 2104, p. 64.
15. Mironenko A., Shpakov I. Wire ropes condition monitoring: conception and implementation. — In: 19<sup>th</sup> Intern. Conf. VVaPol, 2016, p. 7–13.
16. Анисимов А.В., Шпаков И.И. Мониторинг технического состояния канатов шахтных подъемных установок. — Горный журнал Казахстана. 2015. № 9. С. 40–43.
17. Anisimov A., Shpakov I., Slesarev D. Prospects for Condition Monitoring for Ropes of Mine Hoists. — In: Proc. of the 25<sup>th</sup> World Mining Congress. — Astana, Kazakhstan, 2018.

Статья получена 28 июня 2019 г.,  
в окончательной редакции — 29 июля

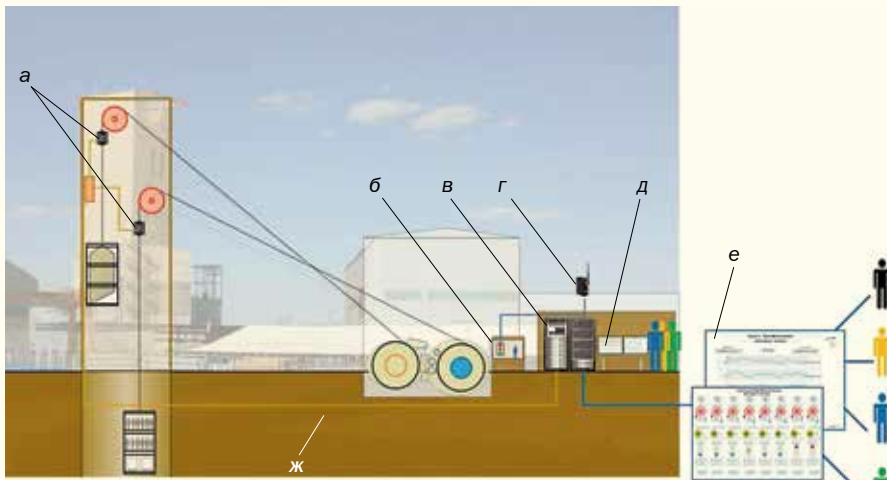


Рис. 3. Схема непрерывного мониторинга канатов ШПУ в ЮАР:  
а — измерительные магнитные головки; б — дисплей оператора состояния канатов ШПУ;  
в — сервер хранения данных мониторинга; г — модем GPRS; д — система определения ТС;  
е — Интернет; ж — оптоволоконный кабель