

Мониторинг состояния стальных канатов автоматизированными средствами технического диагностирования



В.В. Сухоруков,
д-р техн. наук, проф.,
президент,
vsukhorukov@intron-plus.com

ООО «ИНТРОН ПЛЮС»,
Москва, Россия



В.С. Котельников,
д-р техн. наук, проф., ген.
директор

АО «НТЦ «Промышленная
безопасность», Москва, Россия

Для безопасной эксплуатации различных технических устройств и подъемных сооружений необходимо обеспечить автоматизацию контроля технического состояния стальных канатов в течение определенного периода времени. Мониторинг канатов автоматизированными средствами неразрушающего контроля создает условия для повышения безопасности эксплуатации буровых установок, шахтных подъемов, заливочных кранов металлургических производств и других опасных объектов. При этом возникает существенный экономический эффект благодаря более полному использованию ресурса каната, исключению временной остановки технологического процесса для контроля его технического состояния, сокращению численности квалифицированного персонала для выполнения неразрушающего контроля. Показана своевременность создания нормативно-технической базы для мониторинга и автоматизированного диагностирования стальных канатов.

Ключевые слова: мониторинг технического состояния, стальные канаты, техническое диагностирование, дефект, автоматизированный неразрушающий контроль, магнитный контроль канатов, дефектоскоп.

DOI: 10.24000/0409-2961-2019-9-72-81

Введение

Стальные канаты входят в состав разнообразных технических устройств и сооружений, относящихся к опасным производственным объектам. Степень безопасности таких объектов в значительной мере зависит от технического состояния (ТС) используемых в них канатов. В процессе эксплуатации канаты изнашиваются и повреждаются в результате внешних воздействий: как штатных (влияние внешней среды), так и нештатных (удар, деформация, электрический разряд и др.). В результате снижается запас прочности канатов и возникает реальная опасность их обрыва, что может привести к авариям, в том числе связанным с нанесением вреда здоровью людей и со значительными материальными потерями. Для снижения вероятности аварийных ситуаций, вызванных обрывами канатов, их ТС 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, обрывы отдельных проволок. К главным критериям отбраковки канатов относятся предельно допустимые значения потери сечения (ПС), распределенный вдоль каната дефект и число обрывов проволок — локальный дефект (ЛД) на заданной длине каната, например $6D$ или $30D$, где D — диаметр каната. Эти критерии установлены

отечественными [1] и международными [2] нормативами. При неразрушающем контроле (НК) каната магнитными дефектоскопами регистрируют значения ПС и определяют наличие и положение ЛД практически по всей длине каната: как на поверхности, так и внутри. Магнитный неразрушающий контроль (МНК) стальных канатов широко и с успехом применяется многие десятки лет во всем мире, в том числе и в России, где его использование регламентировано руководящим документом Ростехнадзора [3]. Обобщение накопленного опыта МНК канатов грузоподъемных кранов, лифтов, шахтных подъемов, канатных дорог, вантовых мостов, оттяжек антенно-мачтовых сооружений и газовых факелов, проводов линий электропередачи и других объектов [4–11] 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 [12], как «определение состояния технического объекта»). Очевидно, что ТД — понятие более широкое, чем НК, который обычно служит источником данных для ТД. И если в результате НК получают информацию о тех или иных свойствах и параметрах технического объекта, то результатом ТД должно быть определение вида его ТС, например: исправное, работоспособное, неисправное, неработоспособное и т.д. [12]. К задачам

ТД относятся: контроль ТС, поиск места и определение причин отказа (неисправности), 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» [12]. Особое значение имеет задача прогнозирования ТС, в частности, определение остаточного ресурса.

Поскольку ТС объекта в зависимости от условий эксплуатации изменяется со временем по-разному, для достоверного определения вида ТС требуется обновление данных с некоторой частотой, при этом достоверность возрастает с увеличением частоты. В случае традиционного НК это приведет к возрастанию экономических затрат (из-за потерь от прерывания технологического процесса, затрат на контроль и др.), подчас до недопустимого уровня. Кроме того, увеличение объема данных НК приводит к росту трудозатрат на их расшифровку и обработку. Частота обновления данных НК должна возрастать с увеличением наработки объекта, так как с приближением предельного срока службы объекта скорость его 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 ТД под мониторингом понимают непрерывный процесс сбора и анализа информации о значениях диагностических параметров состояния объекта. Непрерывность этого процесса предполагает, что значения параметров, получаемые на примыкающих друг к другу интервалах времени, существенно не изменяются. Эти интервалы могут заметно разниться и устанавливаются отдельно для каждого объекта. Созданию и применению на практике методик ТД стальных канатов на основе автоматизированных средств МНК посвящена данная работа.

Техническое диагностирование и мониторинг стальных канатов

В силу разнообразия конструкций и структуры стальных канатов, а также из-за множества машин, механизмов, сооружений, в которых применяются канаты, требования к ним могут различаться — они определяются конструкцией, назначением и условиями применения. Очевидно, что канаты заливного подъемного крана конвертерного цеха, шахтного подъема, пассажирского лифта, канатной дороги, оттяжек газового факела испытывают нагрузки разного вида, работают в разных условиях и, как следствие, по-разному изнашиваются. А поскольку канаты, как правило, не подлежат ремонту, они должны своевременно выводиться из эксплуатации с последующей заменой, если их прочность (или запас прочности) падает ниже допустимого уровня. При этом допусти-

мый уровень запаса прочности каната устанавливаются исходя из перечисленных выше факторов и степени риска аварий из-за его отказа (обрыва). Прочность каната на разрыв, определяемая разрывным усилием (основной параметр каната), зависит от площади его поперечного сечения (по стали), прочности отдельных проволок, числа обрывов и их локации вдоль оси каната. Для большинства типов конструкций канатов установлены критерии их браковки по ПС и ЛД на заданной длине. Эти критерии приведены в нормативно-технических документах, например, в правилах безопасности Ростехнадзора [1, 13], в европейских нормах [14] и стандартах ISO [2]. Большая часть критериев получена на основе теоретических исследований канатов еще в XX в. [15–17]. Эти исследования не учитывали важной информации об износе внутренних проволок каната, поскольку отсутствовали технологии обнаружения и количественной оценки их износа методами НК. Поэтому в расчеты и 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 расчетов прочностных параметров с учетом влияния дефектов: как наружных, так и внутренних. Такое решение можно считать более достоверным, его применение позволит снизить «запас на незнание».

Автоматизированные средства НК для мониторинга канатов должны собирать данные о наличии или отсутствии дефектов заданного вида в канатах, анализируя сигналы датчиков, 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 динамике их развития могут использоваться для контроля ТС канатов программными средствами, реализующими расчеты прочностных параметров канатов. Таким образом, можно применять оба критерия контроля ТС как по существующим нормам критерия браковки (по значениям ПС), числу и локации ЛД, так и по параметрам прочности.

В магнитных дефектоскопах стальных канатов используется метод регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих вблизи нарушенных однородности намагниченного каната из ферромагнитной стали [18]. Этот метод называют методом потоков рассеяния, а в зарубежной литературе — методом MFL (Magnetic Flux Leakage). Современные магнитные дефектоскопы канатов обычно имеют два или более информационных канала ПС и канал ЛД. В качестве датчиков магнитных потоков рассеяния используют магниточувствительные датчики Холла и (или) индуктивные катушки. При применении одновременно обоих типов датчиков информация от

каждого из них принимается по отдельным каналам: ЛДХ (канал ЛД с датчиками Холла) и канал ЛДИ (канал с индуктивными катушками) и представляется в виде дефектограмм [18], которые требуют задействования квалифицированного персонала для расшифровки, идентификации дефектов, определения их параметров и принятия решения о виде ТС каната. В автоматизированном дефектоскопе эти функции должны выполняться автоматически, без участия персонала. В этом случае оператор объекта, в состав которого входят диагностируемые канаты (машинист крана или канатной дороги, бурильщик и т.д.), в состоянии обслужить дефектоскоп (например, удостовериться в его работоспособности) и целенаправленно воспользоваться его выходными сигналами. Помимо ощутимого сокращения затрат на оплату труда квалифицированных дефектоскопистов, в данном случае создаются реальные условия для мониторинга ТС канатов на таких объектах, как буровые установки, подчас значительно удаленные от своих баз, или краны морских оффшорных платформ. Автоматизация процесса НК, мониторинга и диагностирования ТС путем передачи функций дефектоскописта автоматизированному средству НК имеет принципиально важное значение для повышения безопасности объекта контроля, поскольку позволяет реализовать непрерывное (или частое) отслеживание ТС объектов контроля, например канатов, без увеличения постоянных затрат на оплату труда дефектоскопистов. Одновременно повышается достоверность результатов НК и ТД за счет исключения субъективного фактора при расшифровке дефектограмм, идентификации дефектов и определении их параметров. Имеет значение и то, что результаты НК и ТД можно получать непрерывно в онлайн-режиме и использовать для ТД опасного объекта в целом (например, шахтного подъема или канатной дороги), если автоматизированное средство НК интегрировано в систему ТД этого объекта.

Для создания автоматизированного средства НК, ТД и мониторинга ТС хорошо подходят магнитные дефектоскопы, работающие на принципе регистрации магнитных полей рассеяния. Они обладают такими важными качествами, как бесконтактность физического взаимодействия с канатом, возможность НК внутренней части каната, независимость получаемых данных от состояния его поверхности (наличие смазки, загрязнения, наледь), высокая допустимая скорость контроля, хорошая устойчивость к воздействию внешней среды, механическая прочность, простота обслуживания и др. Однако режим мониторинга создает дополнительные требования к средству НК: повышенная надежность и износоустойчивость, длительная непрерывная работа практически без обслуживания, автоматизация процесса обработки и представления данных мониторинга. Последнее требование очень важно, оно относится к программному обеспечению (ПО) и трудно реализуемо.

При использовании автоматизированного средства НК в режиме мониторинга возникает еще и организационно-техническая проблема. Дело в том, что по действующим федеральным нормам и правилам Ростехнадзора НК опасных производственных объектов должен выполняться аттестованными лабораториями [19], поскольку требует достаточно высокой квалификации аттестованных в установленном порядке специалистов [20]. Но применение автоматизированных средств НК не требует такой квалификации и вполне по силам персоналу, эксплуатирующему объект. Эта специфика должна быть отражена в нормативно-технической документации, регламентирующей порядок выполнения НК и ТД.

Безусловно, мониторинг канатов автоматизированными средствами НК требует определенных затрат на этапе его внедрения. Это расходы на приобретение и установку данных средств, их обслуживание, разработку инструктивной документации и т.д. И хотя эти затраты по изложенным выше причинам достаточно быстро окупаются, все же целесообразность мониторинга должна быть как следует обоснована. Мониторинг канатов вполне оправдан для таких опасных объектов, как шахтные подъемы, буровые установки, заливочные подъемные краны в металлургии и краны морских оффшорных платформ. Мониторинг канатов целесообразен в первую очередь на объектах, для которых обрыв каната может привести к тяжелым последствиям (травмирование персонала, разрушение или повреждение оборудования объекта, прерывание технологического процесса производства и т.п.).

Мониторинг стальных канатов средствами МНК применяется на практике сравнительно недавно. В России в конце 1990-х — начале 2000-х годов мониторинг канатов магнитными приборами ИНТРОС начали применять на Норильском горно-металлургическом комбинате [21]. Поскольку ИНТРОС — неавтоматизированный дефектоскоп и требует участия специалистов для расшифровки данных контроля, процесс мониторинга был дискретным, а не непрерывным. Тем не менее в процессе мониторинга удавалось отслеживать динамику износа канатов шахтных подъемных установок (ШПУ) путем сравнения соответствующих данных с интервалом в несколько месяцев (или в несколько десятков тысяч циклов подъема-спуска). Примерно в это же время мониторинг канатов ШПУ ввели в практику НК в Германии [22] и ЮАР [23], где работы по созданию автоматизированной системы технического диагностирования канатов ШПУ продолжают.

Автоматизированные средства мониторинга и диагностирования канатов

При создании магнитного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО как средства автоматизированного диагностирования канатов в режиме мониторинга за основу принят хорошо себя зарекомендовавший дефектоскоп ИНТРОС, широко применяемый в

России и за рубежом. Задача повышения износостойчивости и надежности магнитной головки (МГ) прибора, навешиваемой на контролируемый канат, решена изменением ее конструкции в двух основных вариантах, предназначенных для контроля талевых канатов буровых установок (БУ) и грузовых канатов заливочных кранов конвертерного цеха. В первом случае головка снабжена двумя парами направляющих роликов для предотвращения механического контакта каната с поверхностью ее внутреннего канала, вызывающего его фрикционный износ. Канал образован металлическими, а не пластиковыми вкладышами, как в приборах ИНТРОС. Это повышает износостойчивость головки. Изменена конструкция замков, фиксирующих головку на канате, что позволяет легко и быстро установить и снять ее. Головка для канатов заливочных кранов работает в наиболее тяжелых условиях окружающей среды: 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, так как зона ее установки труднодоступна. Это создает условия для непрерывного мониторинга, но и требует, чтобы конструкция была простой и надежной. Направляющие ролики не требуются, так как радиальные смещения каната в зоне установки головки незначительны, в отличие от случая установки на БУ. Сигналы МГ передаются в блок управления и индикации (БУИ). Он также отличается от электронного блока прибора ИНТРОС ударопрочным корпусом и более простой индикацией: три световых сигнала (зеленый, желтый, красный) и текстовый дисплей.

Важнейшая часть дефектоскопа ИНТРОС-АВТО — встроенное ПО. Оно собирает данные с шести измерительных преобразователей МГ и рассчитывает на их основе текущие значения по каналам ПС, ЛДХ (датчики Холла) и ЛДИ (индуктивные катушки). Данные каналов в реальном времени подвергаются фильтрации для снижения помех (для каждого канала установлен свой фильтр). Для каналов ЛДХ и ЛДИ установлены специальные фильтры для выделения сигналов от обрывов проволок. Сигналы от обрывов сравниваются с пороговыми значениями, устанавливаемыми в процессе настройки дефектоскопа для работы на канате. В процессе контроля проводится непрерывное 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 — критическим и предкритическим. При превышении допустимого числа загорается желтый или красный индикатор в зависимости от типа порога. Все события по обнаружению обрывов и случаи превышения

какого-либо заданного уровня заносятся в специальный файл результатов контроля.

Встроенное ПО также управляет процессом настройки дефектоскопа для работы на канате. При этом выполняется расчет калибровочной характеристики по каналу ПС, а также настройка чувствительности и порогов по каналам ЛД. Блок управления и индикации 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 записывает текущее значение в специальный файл. Как отмечалось, результат ТД каната, реализуемого дефектоскопом ИНТРОС-АВТО, представляется в виде одного из трех цветных световых сигналов («светофор» на передней панели БУИ, соответствующий одному из трех видов ТС: зеленый — работоспособное (исправное) состояние; желтый — ограниченно работоспособное (ограниченно исправное); красный — неработоспособное (неисправное). Данные мониторинга и ТД каната сохраняются в памяти БУИ и могут быть переданы по кабелю или с помощью радиосигнала в персональный компьютер для обработки и интерпретации посредством ПО Wintros, предназначенного для работы с неавтоматизированным дефектоскопом ИНТРОС. Эти же данные можно использовать для расчета и оценки текущего запаса прочности каната с помощью специального ПО, разработанного ООО «ИНТРОН ПЛЮС». Алгоритм расчета [24] выглядит следующим образом. Рассчитывают показатели прочности для трех вариантов каната: без дефектов, с диагностированной ПС и выявленными ЛД (обрывы проволок). В каждом случае сначала вычисляют деформации и напряжения растяжения, изгиба и кручения в проволоках каната [15, 25]. Затем по соответствующему критерию прочности определяют максимальные эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв max}}$ в наиболее напряженной проволоке и рассчитывают коэффициент запаса прочности

$$n = \sigma_{\text{в}} / \sigma_{\text{экв max}},$$

где $\sigma_{\text{в}}$ — предел прочности материала проволок.

Относительными показателями снижения прочности каната (ослабленного с одной стороны потерей площади по металлу ΔF , а с другой — обрывами проволок числом A) выступают параметры $\chi_{\Delta F}$ и χ_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.

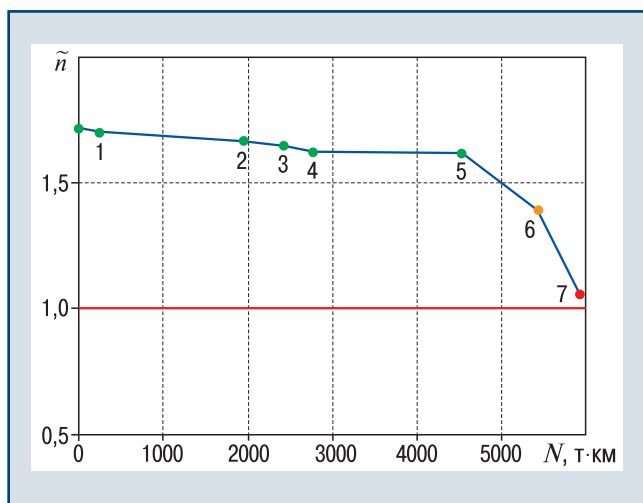
Показатели снижения прочности определяют независимо. Результирующую потерю прочности в любом сечении каната оценивают как суперпозицию потерь:

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

Коэффициент запаса остаточной прочности каната с дефектами определяют с помощью соотношения:

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

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 [24, 26]. Зеленые кружки соответствуют работоспособному состоянию талевого каната (инспекции № 1–5). При инспекции № 6 загорелся желтый (предупреждающий) сигнал светового индикатора БУИ, при инспекции № 7 — красный сигнал (предаварийный), что соответствует практически полному исчерпанию несущей способности, когда запас прочности близок к предельно допустимому значению, равному единице (красная линия).



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

▲ Fig. 1. Change in the rope safety factor \tilde{n} during operation

После этого выполнена перетяжка каната на 270 м, что соответствует выводу из-под нагрузки изношенного участка каната. С момента начала ТД каната до момента его перетяжки прошло около шести недель.

Приведенный пример показывает, как реализуется контроль ТС каната в режиме мониторинга. В данном примере вид ТС определяется сравнением текущего значения коэффициента запаса прочности \tilde{n} каната с предельно допустимым значением $\tilde{n}_{\text{доп}}$, и по результатам сравнения принимается решение. На рис. 1 видно, что деградация каната неравномерна:

начиная с некоторых значений наработки (т·км) 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, чтобы не допустить его преждевременной перетяжки или замены. При этом достаточно сложные функции расшифровки данных мониторинга, расчетов текущих значений параметров ТС каната и определения вида ТС (работоспособное или неработоспособное) по предельным характеристикам дефектности или прочности каната переходят от человека к аппаратуре, что в дальнейшем позволит избежать необходимости выполнения контроля ТС каната квалифицированными специалистами.

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

Созданию этого дефектоскопа предшествовала большая работа по обоснованию целесообразности мониторинга ТС талевых канатов. В 2010 г. специалистами ООО «ИНТРОН ПЛЮС» проконтролированы талевые канаты 53 БУ и подъемников для ремонта скважин с применением магнитного дефектоскопа ИНТРОС в ручном режиме [27]. В результате канаты 13 БУ, находившихся на тот момент в эксплуатации (около 25 %), оказались неработоспособными, хотя и не достигли регламентных сроков перетяжки. До проведения дефектоскопии канаты контролировались только визуально. Очевидно, что действующий порядок контроля ТС не обеспечивает необходимый уровень безопасности БУ.

Совместная с заинтересованными буровыми компаниями работа привела к созданию концепции мониторинга ТС канатов на БУ и к разработке технических требований к автоматизированному дефектоскопу канатов. В 2013 г. проведены успешные эксплуатационные испытания образца прибора на действующих БУ, а в 2014 г. после сертификации в рамках Таможенного союза начались его серийное производство и поставка буровым компаниям.

Измерительное устройство — МГ дефектоскопа — подвешивается вблизи барабана лебедки БУ так, чтобы ее можно было легко привести в рабочее положение путем навешивания на контролируемый канат [24]. 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 отображает-

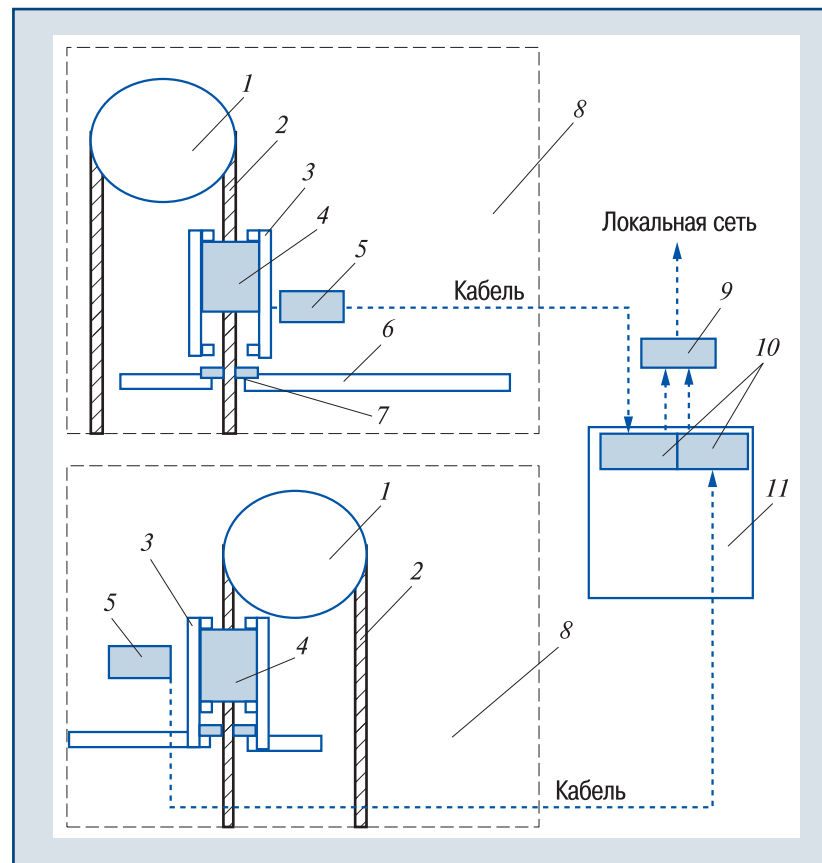
ся световыми сигналами («светофор») БУИ в кабине бурильщика. Контроль ТС талевых канатов выполняется ежесменно. При необходимости буровой мастер назначает более частый контроль.

Опыт применения дефектоскопов ИНТРОС-АВТО отражен в [24, 26–30]. Анализ этого опыта показывает, что прибор удобен и надежен 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, в целях недопущения преждевременной замены или перетяжки работоспособных канатов.

Особенность применения автоматизированных дефектоскопов на ШПУ состоит в том, что эти установки часто бывают многоканатными. Поэтому в целях сокращения времени контроля всех канатов используют установку двух МГ на каждый канат [29, 30], а соединенные с ними кабеля БУИ размещают в кабине оператора подъемного крана. Например, для шестиканатной ШПУ требуется 12 дефектоскопов ИНТРОС-АВТО [29].

Особая специфика отличает описанный выше опыт применения магнитных дефектоскопов для контроля ТС канатов кранов металлургических производств. Магнитная дефектоскопия канатов кранов применяется в России с конца XX в. [31]. Но канаты кранов металлургических производств часто бывают подвержены циклическому воздействию высоких температур (600–800 °С). Вследствие этого возникают пластические и остаточные деформации, образуются и развиваются трещины, обрываются проволоки и отдельные пряди канатов, в результате снижается запас их прочности [32]. Это может быть причиной тяжелых аварий из-за обрыва каната. Такая авария, например, случилась в 1998 г. в конвертерном цехе ОАО «Северсталь» на литейном кране, когда во время заливки чугуна в конвертер оборвался грузовой канат главного подъема, что привело к разливу из ковша около 50 т жидкого металла (при температуре 1250–1400 °С) [32]. Поэтому руководство предприятия уделяет большое внимание обеспечению безопасности производства, прежде всего в металлургических цехах. Так, в конвертерном цехе уже более 20 лет применяется магнитная дефектоскопия каната заливочных кранов. В 2018 г. ООО «ИНТРОН ПЛЮС» по заказу ПАО «Северсталь» выполнен комплекс работ по определению ТС и остаточ-

ного ресурса грузовых канатов и разработке проекта методических указаний (регламента и норм браковки канатов) по мониторингу ТС канатов, подверженных термомеханическим воздействиям. Работы в этом направлении были начаты в ООО «ИНТРОН ПЛЮС» раньше [7, 33, 34]. А в настоящее время проект методических указаний по мониторингу ТС канатов заливочных кранов разработан и представлен заказчику для утверждения. В документе предлагается установить частоту контроля канатов дефектоскопом ИНТРОС-АВТО не менее одного раза в сутки. Два измерительных устройства дефектоскопа МГ следует установить на грузовой канат левой и правой дальних ветвей полиспастной системы траверсы крюка в подшивном пространстве телеги главного подъема, чтобы обеспечить контроль наиболее нагруженного и подверженного термическому воздействию участка ходовой части грузового каната. Два БУИ дефектоскопа должны быть размещены в кабине машиниста крана (рис. 2, здесь 1 — шкив; 2 — канат; 3 — система крепления МГ; 4 — МГ; 5 — аналоговые модули для предварительной обработки аналогового сигнала и преобразования его в цифровую форму; 6 — подшивная площадка; 7 — ограничитель колебаний; 8 — телега главного подъема; 9 — персональный компьютер; 10 — БУИ; 11 — кабина оператора).



▲ Рис. 2. Схема установки магнитных головок дефектоскопа на грузовом канате заливочного крана для непрерывного мониторинга
▲ Fig. 2. Installation diagram of magnetic flaw detector heads on the cargo rope of the filling crane for continuous monitoring

Введение мониторинга ТС канатов заливочных кранов позволяет продлить нормативный ресурс канатов с 1200 до 1500 плавов при переходе к соответствующему нормативному предельному значению ПС каната с 6 до 7 %. Допустимость такого перехода показана в работах ООО «ИНТРОН ПЛЮС». В проекте методических указаний по мониторингу ТС канатов приведены программа и методика работ по переходу к новым диагностическим показателям (критериям браковки) канатов по результатам мониторинга их ТС, предполагающие поэтапный процесс с накоплением необходимых данных.

Дефектоскоп ИНТРОС-АВТО находится на канате крана № 8А цеха выплавки конвертерной стали (ЦВКС) ПАО «Северсталь» постоянно, в соответствии со схемой (см. рис. 2). К марту 2019 г. он успешно проработал более 400 смен (более 11 200 плавов). И хотя условия окружающей среды были достаточно жесткими (высокая температура, графитовая пыль), МГ показала хорошую надежность. В настоящее время эксплуатация прибора ИНТРОС-АВТО в ЦВКС продолжается, а руководством предприятия заказано оснащение всех заливочных кранов ЦВКС этими приборами.

Применение автоматизированных средств НК, таких как ИНТРОС-АВТО, позволяет реализовать более общий подход к обеспечению безопасности объекта, на котором используются канаты, поскольку появляется возможность интеграции этих средств в общую систему мониторинга ТС канатов, а также в систему безопасности объекта в целом. Такой подход разрабатывался компанией Ansys для ШПУ глубоких (около 4 тыс. м) золотодобывающих шахт в ЮАР [23].

Развитие технологий мониторинга ТС канатов в России и за рубежом набирает обороты в разных областях. Накоплен практический опыт создания и применения этих технологий для повышения безопасности эксплуатации опасных объектов. Сделаны первые шаги по созданию нормативно-технической документации, регламентирующей применение этих технологий (например, в ПАО «Северсталь»). Назрела необходимость разработки и утверждения нормативно-технических документов, определяющих применение мониторинга ТС канатов, для повышения безопасности различных объектов с одновременным получением значительного экономического эффекта. Вместе с тем в области стандартизации подходов к НК канатов в России наблюдается явное отставание. В качестве примера можно привести ГОСТ 33718—2015 «Краны грузоподъемные. Проволочные канаты. Уход и техническое обслуживание, инспекция и браковка», разработанный с учетом основных нормативных положений международного стандарта ISO 4309:2010. Стандарт введен в действие в России в 2017 г. В том же году стандарт ISO 4309:2010 (четвертая редакция)

заменен стандартом ISO 4309:2017 (пятая редакция) [2], в котором впервые введены рекомендации по применению магнитного НК канатов, отсутствовавшие в предыдущих редакциях. Очевидно отставание минимум на семь лет от мирового уровня стандартизации.

Заключение

Мониторинг технического состояния стальных канатов автоматизированными средствами — современная передовая технология повышения безопасности объектов, на которых они применяются. Она усиленно развивается в течение более десяти лет как в России, так и за рубежом. Накоплен практический опыт ее использования на различных объектах, доказывающий, что наряду с повышением безопасности она позволяет достигать значительного экономического эффекта.

К настоящему времени назрела необходимость создания и внедрения в практику нормативно-технической и методической документации по применению этих технологий на опасных производственных объектах, в частности руководства по безопасности, федеральных норм и правил, стандартов и методических пособий.

Список литературы

1. *Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — 2-е изд., испр. и доп. — Сер. 10. — Вып. 81. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 164 с.
2. *ISO 4309:2017(E). Cranes — Wire Ropes — Care, Maintenance, Inspection and Discard.* URL: <https://www.sis.se/api/document/preview/922803/> (дата обращения: 29.07.2019).
3. *РД 03-348—00. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения// Промышленная безопасность при эксплуатации грузоподъемных кранов: сб. док. — Сер. 10. — Вып. 7. — 4-е изд., испр. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 44 с.*
4. *Значение дефектоскопии канатов для повышения безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов/ В.С. Котельников, В.Г. Жуков, А.А. Худошин, В.В. Сухоруков// Безопасность труда в промышленности. — 2002. — № 9. — С. 15—19.*
5. *Kotelnikov V.S., Sukhorukov V.V. Rope NDT as Means to Rise Safety of Crane and Elevator Use// CINDE Journal. — 2006. — Vol. 27. — № 3. — P. 11—15.*
6. *Importance of Rope NDT for Safe Lifting of Loading Cranes/ V.V. Sukhorukov, V.S. Kotelnikov, V.G. Zhukov, A.A. Khudoshin// Proceedings of OIPEEC Technical Meeting. — Lenzburg, 2003. — P. 131—136.*
7. *Сухоруков В.В., Воронцов А.Н., Волоховский В.Ю. Контроль износа канатов заливочных кранов металлургических предприятий// Черные металлы. — 2013. — № 10. — С. 56—60.*
8. *Техническое диагностирование оттяжек антенно-мачтовых сооружений/ В.Ю. Волоховский, А.Н. Воронцов, А.В. Жирнов, А.Р. Рудяк// Безопасность труда в промыш-*

ленности. — 2017. — № 10. — С. 33–39. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-10-33-39

9. *Оценка* технического состояния воздушных линий электропередач методами магнитной дефектоскопии// В.Ю. Волоховский, А.Н. Воронцов, В.В. Сухоруков и др.// Энергия единой сети. — 2016. — № 1 (24). — С. 42–51.

10. *Сухоруков В.В., Воронцов А.Н., Жирнов А.В.* Оценка износа вантовых канатов// Дороги. Инновации в строительстве. — 2013. — № 27. — С. 102–106.

11. *Sukhorukov V.V., Slesarev D.A., Vorontsov A.N.* Electromagnetic Inspection and Diagnostics of Steel Ropes: Technology, Effectiveness and Problems// Materials Evaluation. — 2014. — Vol. 72. — № 8. — P. 1019–1027.

12. *ГОСТ 20911–89.* Техническая диагностика. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-20911-89> (дата обращения: 29.07.2019).

13. *Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 10. — Вып. 84. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 154 с.

14. *EN 12927-8–2005.* Safety requirements for cableway installations designed to carry persons. Ropes. Part 8: Magnetic rope testing (MRT). URL: <https://www.nfnorm.cz/en/ehn/4299> (дата обращения: 29.07.2019).

15. *Feyrer K.* Wire Ropes. — Berlin–Heidelberg: Springer Verlag, 2007. — 322 p.

16. *Глушко М.Р.* Стальные подъемные канаты. — Киев: Техника, 1966. — 327 с.

17. *Costello G.A.* Theory of Wire Ropes. — New York: Springer Verlag, 1997. — 123 p.

18. *Гронау О., Белицкий С.Б., Сухоруков В.В.* НК стальных канатов магнитными дефектоскопами: документирование и интерпретация результатов// В мире неразрушающего контроля. — 2006. — № 2. — С. 21–23.

19. *Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 28. — Вып. 14. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 16 с.

20. *ПБ 03-440–02.* Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля. — Сер. 28. — Вып. 3. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 60 с.

21. *Sukhorukov V., Mironenko A.* Monitoring of Mine Hoist Ropes at the Norilsk Nickel Company// Proceedings of the International Conference «Mining Transport». — Szczyrk, 2003. — P. 111–118.

22. *Gronau O., Belitsky S., Sukhorukov V.* NDT of Steel Ropes with Magnetic Flaw Detectors: Documentation and Interpretation of Test Results// Proceedings of the 15th World Conference of NDT. — Rome, 2000. URL: https://www.intron.ru/en/img/PRESS/ARTICLE/EN/3_NDT_of_steel_ropes.pdf (дата обращения: 29.07.2019).

23. *Marias J., Bester N.* A Holistic Approach to Continuous Rope Monitoring// OIPEEC Conference Proceedings. — Texas, 2011. — P. 85–101.

24. *Мониторинг* технического состояния талевых канатов буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения нефтяных и газовых скважин: технология, эф-

фективность, перспективы/ Д.А. Слесарев, О.П. Потехин, И.И. Шпаков и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2018. — № 6. — С. 13–22. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-6-13-22

25. *Малиновский В.А.* Стальные канаты. В 2 ч. Ч. 2. — Одесса: Астропринт, 2002. — 180 с.

26. *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.

27. *Slesarev D.A., Sukhorukov V.V., Semenov A.V.* Application of MFL nondestructive testing for automated rope condition monitoring// Proceedings of European Conference on NDT. — Prague, 2014. — P. 64.

28. *Mironenko A., Shpakov I.* Wire ropes condition monitoring: conception and implementation// Proceedings of 19 International Conference VVaPol. — Podbanske, 2016. — P. 7–13.

29. *Анисимов А.В., Шпаков И.И.* Мониторинг технического состояния канатов шахтных подъемных установок// Горный журнал Казахстана. — 2015. — № 9. — С. 40–43.

30. *Anisimov A., Shpakov I., Slesarev D.* Prospects for Condition Monitoring for Ropes of Mine Hoists// Proceedings of the 25 World Mining Congress. — Astana, 2018.

31. *Котельников В.С., Сухоруков В.В.* Дефектоскопия канатов грузоподъемных машин// Безопасность труда в промышленности. — 1998. — № 5. — С. 34–38.

32. *Котельников В.С., Сухоруков В.В.* Дефектоскопия стальных канатов грузоподъемных кранов, подверженных тепловому воздействию// Безопасность труда в промышленности. — 2003. — № 8. — С. 19–21.

33. *Sukhorukov V.* Steel ropes NDT of cranes of metallurgical works// International Journal of Transport & Logistics. — 2007. — Vol. 7.

34. *Vorontsov A., Volokhovskiy V., Sukhorukov V.* Hot Metal Crane Ropes: Magnetic NDT, Capacity Simulation, Strength Safety, Temperature Criterion// Proceeding of the OIPEEC Conference. — Oxford, 2013. — P. 33–42.

vsukhorukov@intron-plus.com

Материал поступил в редакцию 31 июля 2019 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2019, № 9, pp. 72–81.
DOI: 10.24000/0409-2961-2019-9-72-81

Monitoring of Steel Ropes Condition with Technical Diagnostics Automated Means

V.V. Sukhorukov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., President,
vsukhorukov@intron-plus.com

ООО «INTRON PLYuS», Moscow, Russia

V.S. Kotelnikov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., General Director
JSC «STC «Industrial Safety», Moscow, Russia

Abstract

Technical condition of steel ropes in the scope of various technical and lifting devices plays an important role in ensuring

safety of these objects. To ensure safe operation of lifting devices, more than 30 years ago the uniform norms for rope rejection were developed and put into practice based on their inspection using different non-destructive testing methods. At the same time, for safe operation of various technical and lifting devices it is required to provide automation of processes for monitoring of steel ropes technical condition over a certain period of time. The need for such control is caused by the necessity to create the ropes monitoring system with the development of appropriate non-destructive testing devices, methods, substantiations, data processing systems and their transmission to the control center. Monitoring of ropes with automated non-destructive testing means creates the conditions for improving safety of operation of the drilling rigs, mine hoists, hot-metal crane of the metallurgical plants and other hazardous objects. At the same time, a significant economic effect arises due to a more complete use of the rope service life, elimination of the temporary shut-down of the technological process for its technical control, and the reduction in the number of the qualified personnel for conducting non-destructive testing. Creation of the automated means of non-destructive testing for rope monitoring is impossible without ensuring high reliability of the equipment in the difficult operating conditions, developing specialized software, as well as solving other important tasks. As an example, the automated magnetic flaw detector INTROS-AUTO and the experience of its application in various hazardous objects are considered. The timeliness of creating the regulatory-technical base for monitoring and automated diagnostics of steel ropes is shown.

Key words: technical condition monitoring, steel ropes, technical diagnostics, flaw, automated non-destructive testing, rope magnetic testing, flaw detector.

References

1. Safety rules for hazardous production facilities that use lifting devices: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. 2-e izd., ispr. i dop. Ser. 10. Iss. 81. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 164 p. (In Russ.).
2. ISO 4309:2017(E). Cranes — Wire Ropes — Care, Maintenance, Inspection and Discard. Available at: <https://www.sis.se/api/document/preview/922803/> (accessed: July 29, 2019).
3. RD 03-348—00. Methodical guidelines for magnetic particle inspection of steel ropes. Fundamental principles. *Promyshlennaya bezopasnost pri ekspluatatsii gruzopodemnykh kranov: sb. dok.* (Industrial safety during operation of hoisting cranes: Collection of documents). Ser. 10. Iss. 7. 4-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 44 p. (In Russ.).
4. Kotelnikov V.S., Zhukov V.G., Khudoshin A.A., Sukhorukov V.V. The importance of ropes flaw detection for improving safety of lifting cranes operation. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2002. № 9. pp. 15–19. (In Russ.).
5. Kotelnikov V.S., Sukhorukov V.V. Rope NDT as Means to Rise Safety of Crane and Elevator Use. *CINDE Journal*. 2006. Vol. 27. № 3. pp. 11–15.
6. Sukhorukov V.V., Kotelnikov V.S., Zhukov V.G., Khudoshin A.A. Importance of Rope NDT for Safe Lifting of Loading Cranes. Proceedings of OIPEEC Technical Meeting. Lenzburg, 2003. pp. 131–136.
7. Sukhorukov V.V., Vorontsov A.N., Volokhovskiy V.Yu. Control of wear of ropes of hot-metal cranes in the metallurgical enterprises. *Chernye metally = Ferrous metals*. 2013. № 10. pp. 56–60. (In Russ.).
8. Volokhovskiy V.Yu., Vorontsov A.N., Zhirnov A.V., Rudyak A.R. Technical Diagnostics of Guy Wires of Antenna Mast Structures. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2017. № 10. pp. 33–39. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2017-10-33-39
9. Volokhovskiy V.Yu., Vorontsov A.N., Sukhorukov V.V., Tsukanov V.V., Shkaptsov V.A., Artemev M.S., Chernetsov V.V. Assessment of technical condition of the overhead power lines by magnetic-particle methods. *Energiya edinoy seti = Energy of a single network*. 2016. № 1 (24). pp. 42–51. (In Russ.).
10. Sukhorukov V.V., Vorontsov A.N., Zhirnov A.V. Assessment of wear of the cable-stayed ropes. *Dorogi. Innovatsii v stroitelstve = Roads. Innovations in construction*. 2013. № 27. pp. 102–106. (In Russ.).
11. Sukhorukov V.V., Slesarev D.A., Vorontsov A.N. Electromagnetic Inspection and Diagnostics of Steel Ropes: Technology, Effectiveness and Problems. *Materials Evaluation*. 2014. Vol. 72. № 8. pp. 1019–1027.
12. GOST 20911–89. Technical diagnostics. Terms and definitions. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-20911-89> (accessed: July 29, 2019). (In Russ.).
13. Safety rules for passenger cable cars and funiculars: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 10. Iss. 84. 2-e izd., ispr. i dop. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 154 p. (In Russ.).
14. EN 12927-8—2005. Safety requirements for cableway installations designed to carry persons. Ropes. Part 8: Magnetic rope testing (MRT). Available at: <https://www.nfnorm.cz/en/ehn/4299> (accessed: July 29, 2019).
15. Feyrer K. Wire Ropes. Berlin—Heidelberg: Springer Verlag, 2007. 322 p.
16. Glushko M.R. Steel hoisting ropes. Kiev: Tekhnika, 1966. 327 p. (In Russ.).
17. Costello G.A. Theory of Wire Ropes. New York: Springer Verlag, 1997. 123 p.
18. Gronau O., Belitskiy S.B., Sukhorukov V.V. Steel ropes non-destructive control with magnetic flaw detectors: documentation and interpretation of results. *V mire nerazrushayushchego kontrolya = In the world of non-destructive testing*. 2006. № 2. pp. 21–23. (In Russ.).
19. Main requirements for conducting non-destructive testing of technical devices, buildings and structures at hazardous production facilities: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 28. Iss. 14. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 16 p. (In Russ.).
20. PB 03-440—02. Rules for certification of personnel in the field of non-destructive testing. Ser. 28. Iss. 3. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 60 p. (In Russ.).
21. Sukhorukov V., Mironenko A. Monitoring of Mine Hoist Ropes at the Norilsk Nickel Company. Proceedings of the International Conference «Mining Transport». Szczyrk, 2003. pp. 111–118.
22. Gronau O., Belitskiy S., Sukhorukov V. NDT of Steel Ropes with Magnetic Flaw Detectors: Documentation and In-

terpretation of Test Results. Proceedings of the 15th World Conference of NDT. Rome, 2000. Available at: https://www.intron.ru/en/img/PRESS/ARTICLE/EN/3_NDT_of_steel_ropes.pdf (accessed: July 29, 2019).

23. Marias J., Bester N. A Holistic Approach to Continuous Rope Monitoring. OIPEEC Conference Proceedings. Texas, 2011. pp. 85–101.

24. Slesarev D.A., Potekhin O.P., Shpakov I.I., Volokhovskiy V.Yu., Vorontsov A.N. Monitoring of Technical Condition of the Wire Ropes of Drilling Rigs for Production and Exploratory Drilling of Oil and Gas Wells: Technology, Efficiency, Prospects. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 6. pp. 13–22. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-6-13-22

25. Malinovskiy V.A. Steel ropes. V 2 parts. Pt. 2. Odessa: Astroprint, 2002. 180 p. (In Russ.).

26. Potekhin O.P., Shpakov I.I. Monitoring of the technical condition of the wire ropes using magnetic detectors as a safety tool for drilling rigs operation. *Burenie i nefi = Drilling and Oil*. 2016. № 1. pp. 52–58. (In Russ.).

27. Slesarev D.A., Sukhorukov V.V., Semenov A.V. Application of MFL nondestructive testing for automated rope condition monitoring. Proceedings of European Conference on NDT. Prague, 2014. pp. 64.

28. Mironenko A., Shpakov I. Wire ropes condition monitoring: conception and implementation. Proceedings of 19 International Conference VVaPol. Podbanske, 2016. pp. 7–13.

29. Anisimov A.V., Shpakov I.I. Monitoring of the technical condition of the ropes of mine hoisting plants. *Gornyy zhurnal Kazakhstana = Mining Journal of Kazakhstan*. 2015. № 9. pp. 40–43. (In Russ.).

30. Anisimov A., Shpakov I., Slesarev D. Prospects for Condition Monitoring for Ropes of Mine Hoists. Proceedings of the 25 World Mining Congress. Astana, 2018.

31. Kotelnikov V.S., Sukhorukov V.V. Hoisting machines flaw detection. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 1998. № 5. pp. 34–38. (In Russ.).

32. Kotelnikov V.S., Sukhorukov V.V. Steel ropes flaw detection of hoisting cranes subject to heat effect. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2003. № 8. pp. 19–21. (In Russ.).

33. Sukhorukov V. Steel ropes NDT of cranes of metallurgical works. International Journal of Transport & Logistics. 2007. Vol. 7.

34. Vorontsov A., Volokhovskiy V., Sukhorukov V. Hot Metal Crane Ropes: Magnetic NDT, Capacity Simulation, Strength Safety, Temperature Criterion. Proceeding of the OIPEEC Conference. Oxford, 2013. pp. 33–42.

Received July 31, 2019

По страницам научно-технических журналов сентябрь 2019 г.

Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций (научный информационный сборник)

Ахметханов Р.С. Декомпозиция критически важных объектов для проведения оценки их уязвимости при атаках технологического и интеллектуального терроризма. — 2018. — № 5.

Освящена проблема минимизации уязвимости критически важных объектов от террористических атак. При этом рассматриваются особенности технологического и интеллектуального терроризма. Данную проблему предлагается решать с помощью системного подхода — структурной декомпозиции критически важных объектов.

Исследование детонационного и дефлаграционного горения угольной пыли в целях пожарно-технической экспертизы/ Л.В. Долгушина, И.Г. Ефремов, А.Н. Лагунов и др. — 2018. — № 5.

Приводятся данные по изучению пожаровзрывоопасных свойств угольной пыли, полученной из угля различных месторождений. Показано, что на взрывоопасность угольной пыли влияет количество содержания влаги в ней и количество выхода летучих веществ. На основании полученных данных установлено, чем выше содержание влаги в угольной пыли и меньшее количество выхода летучих веществ, тем меньшую опасность взрыва она представляет. По результатам изучения макроструктуры угля под микроскопом с увеличением $\times 100$ выявлено, что су-

щественных отличий между углями различных месторождений не наблюдается.

Научные основы анализа взаимосвязанных комплексных проблем национальной безопасности/ Н.А. Махутов, М.М. Гаденин, О.Н. Юдина и др. — 2018. — № 6.

Рассмотрены проблемы комплексной безопасности жизнедеятельности и жизнеобеспечения, решение которых строится на анализе сложной социально-природно-техногенной системы, включающей в себя взаимодействующие социальную, природную и техногенную сферы. При этом в центре такой системы находится человек и общество в целом с присущими им законами развития и особенностями взаимосвязей с другими названными сферами. Для этой сложной системы в качестве базовых количественных критериев безопасности приняты риски, определяемые как функционал вероятностей возникновения неблагоприятных опасных процессов и событий и сопутствующих им ущербов. Показано, что ключевыми критериями всех видов безопасности, характеризующих угрозы жизнедеятельности и жизнеобеспечения, являются взаимосвязанные общие риски для рассматриваемой стадии функционирования, анализируемой комплексной социально-природно-техногенной системы, образующиеся при взаимодействии рисков от всех ее составляющих. Базовым условием и требованием обеспечения безопасности предлагается считать функционирование рассматриваемой социально-природно-техногенной системы в области допустимых, приемлемых рисков.