

Мониторинг технического состояния талевых канатов буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения нефтяных и газовых скважин: технология, эффективность, перспективы



Д.А. Слесарев,
д-р техн. наук, директор
по проектированию



О.П. Потехин,
зам. коммерческого
директора



И.И. Шпаков,
руководитель группы



В.Ю. Волоховский,
канд. техн. наук,
VolokhovskiyVY@mpei.ru



А.Н. Воронцов,
канд. техн. наук

ООО «ИНТРОН ПЛЮС», Москва, Россия

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва, Россия

Рассмотрен вопрос организации мониторинга технического состояния талевых канатов буровых установок, основанного на применении автоматизированных измерительных средств, которые реализуют магнитный метод неразрушающего контроля. Дано описание технологии выполнения работ и используемого диагностического оборудования. Приведены результаты мониторинга технического состояния талевого каната на одной из буровых установок ООО «Таргин Бурение».

Ключевые слова: талевый канат, буровая установка, наработка, мониторинг технического состояния, магнитный неразрушающий контроль, диагностирование, распределенные и локальные дефекты, остаточная несущая способность.

DOI: 10.24000/0409-2961-2018-6-13-22

Введение

Установки для эксплуатационного и разведочно-бурения нефтяных и газовых скважин относятся к числу опасных производственных объектов (ОПО). Требования промышленной безопасности к эксплуатации таких объектов отражены в федеральных нормах и правилах (ФНП) в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» [1] и «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» [2].

Талевый канат — ответственный несущий элемент конструкции буровой установки (БУ), который в процессе вышкомонтажных работ и спускоподъемных операций при строительстве скважин испытывает высокоинтенсивные механические нагрузки: как статические, так и динамические. Кроме того, талевые канаты подвержены значительному коррозийному и фрикционному износу. Техническое состояние (ТС) и безаварийная эксплуатация талевых канатов определяются прежде всего их несущей

способностью (прочностью). Контроль ТС талевого каната БУ — важная производственная задача, успешное решение которой позволяет буровым компаниям уменьшить риски аварий, происходящих по причине обрыва канатов, а также снизить следующие за этим финансовые и репутационные потери, дополнительно сократить расходы на обслуживание путем обоснованного планирования операций по протяжке каната.

Персоналом буровых компаний задача организации контроля ТС талевого каната БУ решается в соответствии с положениями ФНП [1], где в п. 73 указано: «За состоянием каната должен быть установлен контроль. Частота осмотров каната устанавливается в зависимости от характера и условий работы». Кроме того, в п. 73 ФНП [1] разъясняется: при обнаружении каких эксплуатационных дефектов запрещается дальнейшее использование каната, т.е. даны нормы браковки талевых канатов. Эти нормы браковки приведены без указания вида (метода) неразрушающего контроля (НК). Указанные в [1]

нормы браковки касаются лишь внешних дефектов (повреждений) и ориентированы на проведение визуального и измерительного контроля (ВИК) талевых канатов.

Данный вид контроля позволяет обнаружить видимые дефекты талевого каната (например, согласно ГОСТ 16853—88 [3]): обрывы наружных проволок с расхождением их концов, повреждения внешних проволок и (или) прядей каната. Время проведения одного осмотра и измерительного контроля рабочей длины талевого каната БУ может составить 1-1,5 ч. Однако дефекты, расположенные внутри каната (обрывы внутренних проволок или проволок и прядей металлического сердечника, фрикционный износ и коррозия внутренних проволок каната), с помощью ВИК обнаружить невозможно. Поэтому ВИК не позволяет достоверно определить ТС талевого каната и, как следствие, предотвратить возникновение на БУ аварий, связанных с падением талевых блоков из-за обрыва канатов, влекущих дополнительные финансовые затраты буровых компаний на устранение последствий аварийных ситуаций с потерей временных, материальных и прочих ресурсов.

В ФНП [2] и ГОСТ 33718—2015 [4] указано, что браковку стальных канатов в эксплуатации следует выполнять и при обнаружении дефектов, которые могут быть выявлены только с применением отличных от ВИК методов НК. В ФНП «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» [5] определено:

«7. Выбор методов (видов) НК или их совокупности, а также технологий, объемов, последовательности и средств контроля осуществляется исходя из условия обеспечения достоверных результатов НК и применения наиболее эффективных методов, обеспечивающих выявляемость дефектов в каждом случае его проведения.

8. Методы (виды) НК, объемы, последовательность и средства контроля отдельными методами (видами) НК, нормы оценки (критерии технического состояния) устанавливаются проектной и технологической документацией, федеральными нормами и правилами, руководствами по безопасности, стандартами, сводами правил, техническими условиями».

До сих пор в практике эксплуатационного обслуживания оборудования БУ отечественных и зарубежных буровых компаний основным методом оценки ТС талевых канатов остается ВИК. Но в последнее время идут поиск и разработка современных технологий мониторинга ТС талевых канатов БУ.

В октябре—ноябре 2010 г. специалистами лаборатории неразрушающего контроля ООО «ИНТРОН ПЛЮС» в подразделениях ряда компаний (ООО «РН-Бурение», ЗАО «Нижевартовскбурнефть», ООО «Нижевартовское предприятие по ремонту скважин», ПАО «Оренбургбурнефть» и ООО «Управ-

ление по капитальному ремонту скважин») на 53 БУ и подъемниках для ремонта скважин проконтролированы талевые канаты. Диагностирование проводили с применением магнитного дефектоскопа ИНТРОС. На рис. 1 представлено применение дефектоскопа ИНТРОС (магнитная головка МГ 20-40) для обследования талевого каната БУ.



▲ Рис. 1. Обследование талевого каната БУ дефектоскопом ИНТРОС

▲ Fig. 1. Inspection of wire ropes of the drilling rig with the INTROS flaw detector

Дефектоскоп ИНТРОС — сертифицированное двухканальное средство измерений [6–9], которое реализует магнитный вид контроля. Первый канал служит для выявления распределенных дефектов «потеря сечения» (ПС) каната по металлу из-за коррозии и (или) фрикционного износа. Он измеряет относительную величину ПС (%). Второй канал предназначен для обнаружения локальных дефектов (ЛД) «обрыв проволок» каната.

По результатам диагностирования с использованием дефектоскопа ИНТРОС забракованы талевые канаты на 13 БУ и подъемниках, находившихся на момент обследования в эксплуатации. Таким образом, 25 % общего числа проконтролированных талевых канатов признаны непригодными к дальнейшей эксплуатации.

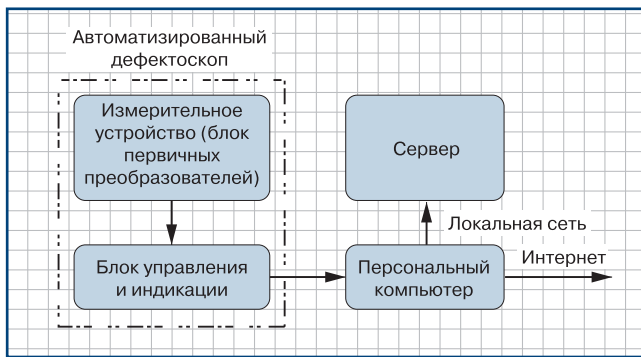
Вместе с тем при контроле талевых канатов на 53 БУ и подъемниках для ремонта скважин выявлены случаи, когда по причине достижения предельных значений по наработке каната выполнены перетяжки талевых канатов, хотя параметры диагностированных эксплуатационных дефектов были ниже уровней браковки.

Анализ выполненных работ показал, что применение для диагностирования канатов магнитных дефектоскопов весьма эффективно и позволяет решить задачу создания автоматизированной системы мониторинга ТС талевого каната. Приобретенный при этом опыт позволил выработать концепцию применения магнитных дефектоскопов на действующих БУ, сформулировать технические требова-

ния к системе мониторинга ТС талевых канатов и приступить к решению задачи по разработке автоматизированного средства измерений (автоматизированный дефектоскоп) для диагностирования канатов.

Технология мониторинга ТС талевых канатов

Мониторинг ТС талевого каната — система мероприятий наблюдения и контроля, проводимых по определенной программе для регистрации изменений параметров, определяющих эксплуатационные характеристики, основная из которых — несущая способность (прочность) каната, и принятия мер по предотвращению аварийной ситуации. Структурная схема автоматизированной системы мониторинга ТС талевого каната приведена на рис. 2.



▲ Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы мониторинга ТС талевого каната

▲ Fig. 2. Structural diagram of the automated technical condition monitoring system for wire ropes

Автоматизированный дефектоскоп [10] — устройство, при помощи которого осуществляется контроль ТС каната, без непосредственного участия человека устанавливается соответствие между диагностируемыми параметрами, определяющими текущее состояние каната, и нормами браковки. Для выполнения этой функции дефектоскоп должен иметь следующие метрологические характеристики:

диапазон измерения относительной ПС каната по металлу — $0 \div 20 \%$;

предел абсолютной погрешности измерения ПС — не более $\pm 1 \%$;

порог чувствительности к обрывам проволок — обрыв в одном сечении проволоки с эквивалентным значением ПС не более 1 %.

В комплект дефектоскопа входят:

измерительное устройство (ИУ) — блок первичных преобразователей, создающих на выходе электрический сигнал, который после усиления и преобразования в цифровую форму обрабатывается в микропроцессоре;

электронный блок управления и индикации (БУИ), который имеет дисплей для визуализации данных диагностирования;

специализированное программное обеспечение (ПО), предназначенное для просмотра и обработки

дефектограмм, а также для анализа и интерпретации результатов контроля.

Измерительное устройство дефектоскопа рекомендуется устанавливать на талевый канат непосредственно у барабана лебедки БУ. Это дает возможность проводить контроль ТС наиболее протяженного участка ходовой части талевого каната. Наилучшее место установки БУИ дефектоскопа — пост управления БУ (кабина бурильщика). Это позволяет бурильщику непосредственно управлять процессом дефектоскопии каната и следить за показаниями, которые отражаются на дисплее.

Световая индикация БУИ автоматизированного дефектоскопа информирует о том, что при контроле каната сигналы первичных преобразователей ИУ достигли (или превышали) фиксированный уровень. Устанавливаемые при настройке автоматизированного дефектоскопа значения порогов критичности обнаруживаемых дефектов соответствуют разным категориям ТС талевого каната: работоспособное (I уровень годности каната); ограниченно работоспособное (II уровень годности каната); аварийное (III уровень годности каната).

Уровни годности талевого каната устанавливаются в соответствии с нормами браковки, приведенными в ФНП [1], и с техническим стандартом буровой компании по эксплуатации и учету наработки талевых канатов.

Цвет светового индикатора БУИ автоматизированного дефектоскопа соответствует:

зеленый — I уровню годности; информирует, что количественные значения диагностируемых параметров ТС талевого каната не достигли установленного уровня, например 70 % относительно норм браковки;

желтый — II уровню годности; предупреждает, что количественные значения диагностируемых параметров ТС талевого каната находятся в интервале 70–95 % относительно норм браковки;

красный — III уровню годности; сигнализирует, что количественные значения диагностируемых параметров ТС талевого каната превысили 95 % относительно норм браковки.

Если в ходе мониторинга ТС талевого каната на дисплее БУИ загорается красный индикатор, то необходимо немедленно провести визуальный контроль дефектных участков каната и выполнить его повторную дефектоскопию. В случае подтверждения наличия критических дефектов буровым мастером принимается решение о необходимости срочной перетяжки или замене талевого каната.

Для осуществления процедуры диагностирования состояния каната следует обеспечить его перемещение относительно ИУ дефектоскопа. Поэтому сначала талевый блок устанавливают в крайнее нижнее положение. Измерительное устройство дефектоскопа навешивают на талевый канат и закреп-

пляют у барабана лебедки (рис. 3, а). Затем включают БУИ дефектоскопа ИНТРОС-АВТО (рис. 3, б). Происходит самодиагностика прибора, после которой на дисплее БУИ появляется надпись «ГОТОВ», что означает: прибор исправен и готов к проведению НК каната. Бурильщик включает привод лебедки и кнопку «СТАРТ» на БУИ для начала записи информации дефектоскопии (дефектограмм) талевого каната. Талевый блок перемещают в крайнее верхнее положение, после чего бурильщик выключает привод лебедки и для завершения записи дефектограмм нажимает кнопку «СТОП» на БУИ дефектоскопа.

В процессе диагностирования и по его окончании необходимо следить за показаниями БУИ, на дисплее которого в онлайн-режиме отображается информация о выявляемых дефектах. После завершения записи данных контроля в БУИ дефектоскопа в течение 10–15 с проходит их автоматическая обработка. По окончании обработки данных на дисплей выводится информация об общем числе дефектных участков и загорается индикатор, соответствующий наиболее опасному дефекту из всех обнаруженных. После завершения контроля магнитная головка (ИУ дефектоскопа ИНТРОС-АВТО) снимается с талевого каната и переводится в положение хранения. Время, затрачиваемое персоналом буровой бригады на процедуру НК талевого каната, составляет не более 10–15 мин.

На рис. 4–6 приведены примеры дефектограмм и срабатывания световых индикаторов БУИ автоматизированного дефектоскопа в зависимости от критичности дефектов, обнаруженных при мониторинге ТС талевого каната.

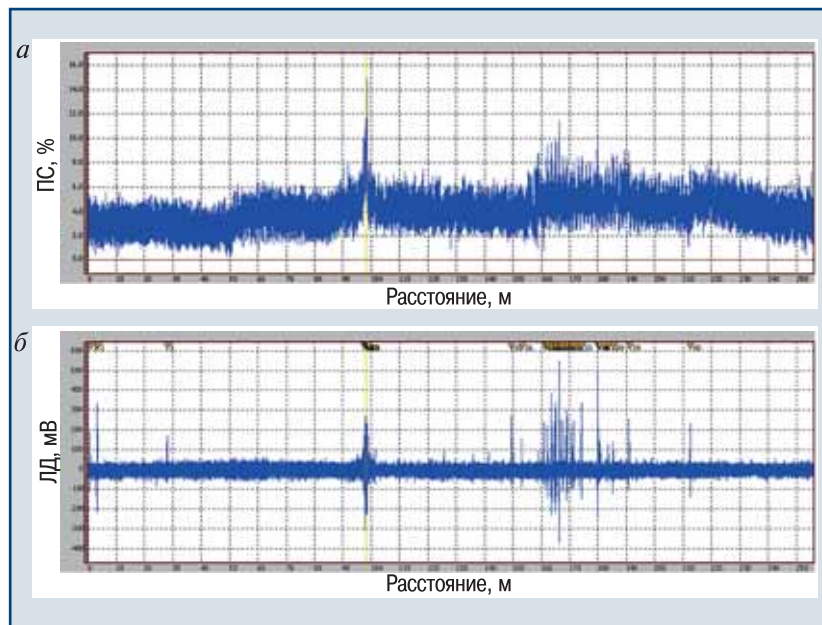
Дефектограммы, соответствующие ограниченно работоспособному ТС талевого каната, приведены на рис. 4, 5. На рис. 4, а видно, что ПС равняется 14,8 %, превышает установленный порог II уровня годности. Сработал желтый световой индикатор БУИ (полоса желтого цвета на отрезке 97–98 м дефектограммы каната).

На рис. 5, б видно, что причина срабатывания желтого светового индикатора БУИ — превышение порога II уровня годности по числу обрывов проволоки на шаге свивки каната (полоса желтого цвета на отрезке 223–235 м дефектограммы каната).



▲ Рис. 3. Дефектоскоп ИНТРОС-АВТО для мониторинга ТС талевого каната

▲ Fig. 3. INTROS-AVTO flaw detector for monitoring technical condition of the wire rope

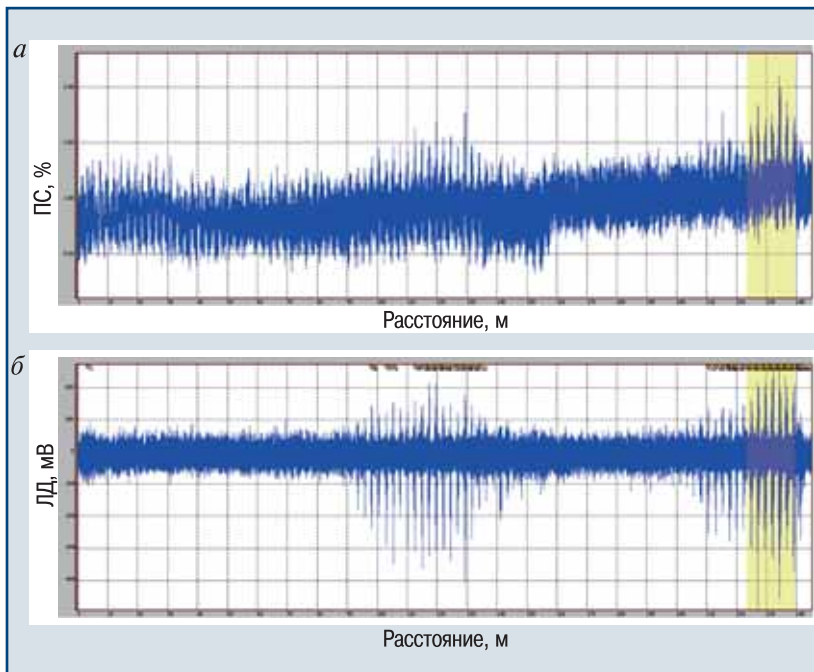


▲ Рис. 4. Дефектограммы ПС (а) и ЛД (б), которые соответствуют ограниченно работоспособному ТС талевого каната

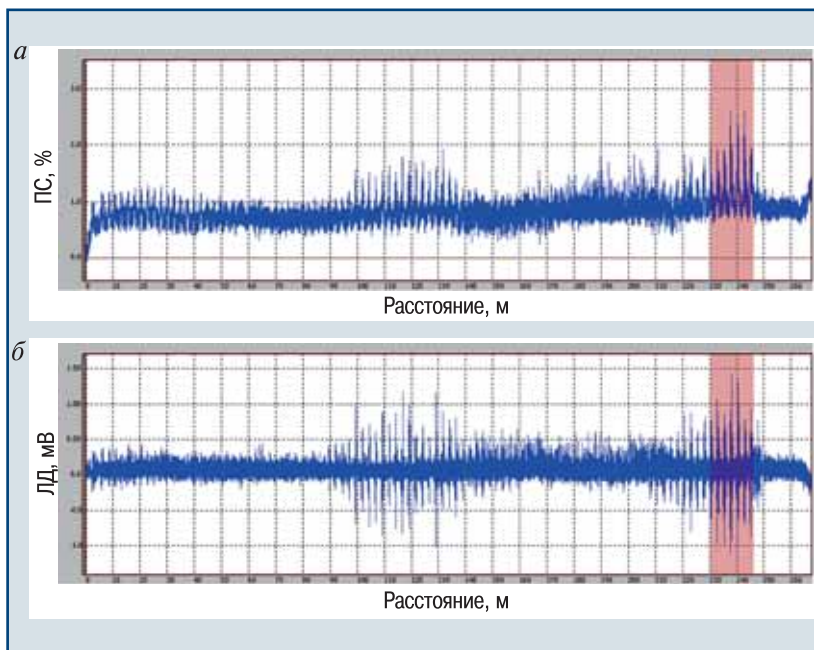
▲ Fig. 4. Defectograms of the loss of section (а) and local defects (б), which correspond to the limited operational condition of the wire rope

Дефектограммы, которые соответствуют аварийному ТС талевого каната, показаны на рис. 6. На рис. 6, б видно, что причина срабатывания красного светового индикатора БУИ — превышение установленного порога III уровня годности по числу ЛД на шаге свивки каната (полоса красного цвета на участке 233–245 м дефектограммы каната).

Данные диагностирования, полученные при мониторинге ТС талевого каната, сохраняются в памяти БУИ дефектоскопа и при необходимости могут быть скопированы в персональный компьютер для обработки, интерпретации и анализа полученного



▲ Рис. 5. То же, что на рис. 4
▲ Fig. 5. The same as in Fig. 4



▲ Рис. 6. Дефектограммы ПС (а) и ЛД (б), которые соответствуют аварийному ТС талевого каната
▲ Fig. 6. Defectograms of the loss of section (а) and local defects (б), which correspond to emergency technical condition of the wire rope

информационного материала (результатов магнитной дефектоскопии) при помощи ПО Wintros.

Мониторинг ТС талевого каната БУ с использованием автоматизированного дефектоскопа проводится работниками буровой компании, прошедшими расширенный инструктаж с отработкой практических навыков применения данного оборудования. Диагностирование талевых канатов рекомендуется выполнять не реже одного раза в смену.

В случае необходимости, по решению бурового мастера, частота проведения контроля и оценки ТС талевых канатов может быть увеличена. Автоматизированный дефектоскоп позволяет персоналу БУ быстро (не более 10 мин) выполнять периодический контроль ТС ходовой ветви талевого каната без участия специалиста по магнитному НК. Для диагностирования талевого каната с выдачей заключения по результатам магнитной дефектоскопии (в соответствии с РД 03-348—00 [11]) привлекаются специалисты по магнитному НК.

Промышленное применение автоматизированного дефектоскопа для мониторинга ТС талевых канатов

Испытания опытного образца автоматизированного магнитного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО проведены в мае—июне 2013 г. на действующих БУ в ОАО «Подзембургаз» и в Губкинском филиале ООО «РН-Бурение» (рис. 7).

В начале 2014 г. автоматизированный дефектоскоп ИНТРОС-АВТО прошел сертификацию в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации и Таможенного союза ЕАЭС, началось его промышленное применение. Первопроходцем практического использования автоматизированных дефектоскопов ИНТРОС-АВТО стало ООО «Газпром бурение» — одна из крупнейших буровых компаний, осуществляющая управление интегрированными проектами по строительству скважин на суше и шельфе всей территории России. В 2013 г. ООО «Газпром бурение» приняло решение о промышленном применении автоматизированных дефектоскопов и включило их в Технические требования на комплектную универсальную буровую установку грузоподъемностью 4000 кН для бурения

нефтяных и газовых скважин как штатное оборудование для контроля ТС талевых канатов. В июне 2014 г. четыре новые БУ Уралмаш 6000/400 ЭК-БМЧ в филиале «Уренгой бурение» ООО «Газпром бурение» укомплектованы дефектоскопами ИНТРОС-АВТО.

В 2014—2015 гг. опыт применения дефектоскопов ИНТРОС-АВТО для мониторинга ТС талевых канатов также получили специалисты Нижневартовского



▲ **Рис. 7. Автоматизированный дефектоскоп ИНТРОС-АВТО при проведении испытаний**

▲ **Fig. 7. Automated flaw detector INTROS-AVTO during testing**

филиала ООО «Интегра — Бурение» и Когалымского филиала ООО «Буровая компания «Евразия». Эти компании провели опытную эксплуатацию автоматизированных дефектоскопов при мониторинге ТС талевых канатов на БУ 3000 ЭУК-1М в условиях бурения скважин на Самотлорском и Ватьеганском нефтяных месторождениях в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре.

Наиболее развернутая программа опытно-промышленной эксплуатации (ОПЭ) автомати-

зированной дефектоскопа ИНТРОС-АВТО для мониторинга ТС талевых канатов реализована с 26 марта по 22 сентября 2016 г. на действующих БУ в Западно-Сибирской экспедиции глубокого бурения ООО «Таргин Бурение» [12].

Цель испытаний — проверка работоспособности и надежности конструкции узлов и комплектующих дефектоскопа, эффективности предлагаемой технологии диагностирования ТС талевых канатов и удобства применения дефектоскопа ИНТРОС-АВТО в условиях промышленной эксплуатации. В рамках ОПЭ при строительстве скважин на кустовых площадках № 2484 Самотлорского месторождения и № 102 Крайнего месторождения проведен мониторинг ТС талевых канатов на двух БУ УСПК-250 ЭК.

Мониторинг ТС талевого каната на БУ УСПК-250 ЭК при бурении скважин куста № 102 Крайнего месторождения проводили с 24 июня по 22 сентября 2016 г. Тип и характеристики навешенного талевого каната приведены ниже.

Производитель АО «Редаелли ССМ»
 Сертификат № 4134856006
 Тип каната ГОСТ 16853—88, СТО 71915393-ТУ 049—2007
 Конструкция каната 6х26(1+5+5/5+10)+
 +3х19(1+6+6/6)+3 о.з. с комбинированным сердечником
 (3 органические и 3 металлические пряди)
 Диаметр, мм 32
 Площадь поперечного сечения, мм² 475,75
 Число проволок 213
 Шаг свивки, мм 192
 Минимальное разрывное усилие, кН 717

В таблице отражены данные мониторинга ТС этого талевого каната с использованием дефек-

| Номер инспекции | Дата контроля | Наработка, т·км | Обнаруженные дефекты |
|-----------------|---------------|-----------------|--|
| 1 | 24.06.2016 | 257 | Незначительный износ каната на участке 79,8–163,5 м Максимальная ПС — 0,5 % Горит зеленый индикатор БУИ |
| 2 | 04.07.2016 | 1981 | Увеличение износа каната Максимальная ПС — 0,9 % Горит зеленый индикатор БУИ |
| 3 | 07.07.2016 | 2439 | Увеличение износа каната на участке 60,4–189,8 м Максимальная ПС — 1,1 % Горит зеленый индикатор БУИ |
| 4 | 11.07.2016 | 2784 | Увеличение износа каната Максимальная ПС — 1,2 % Горит зеленый индикатор БУИ |
| 5 | 24.07.2016 | 4545 | Обрывы проволок каната в сечениях на отметках: 109,6; 111,9; 123,9; 126,2; 222,5; 224,8 и 227,3 м Максимальная ПС — 1,4 % Горит зеленый индикатор БУИ |
| 6 | 30.07.2016 | 5454 | Резкий рост числа обрывов проволок каната на участках 98,1–134,1 и 210,4–241,5 м Максимальная ПС — 2,4 % Сработал желтый индикатор БУИ |
| 7 | 02.08.2016 | 5923 | Многочисленные обрывы проволок каната на участке 91,6–248,8 м Максимальная ПС — 3,5 % Сработал красный индикатор БУИ |

тоскопа ИНТРОС-АВТО с момента начала эксплуатации неизношенного участка до перехода в предельное (аварийное) состояние.

На основании данных мониторинга ТС талевого каната на БУ УСПК-250 ЭК работниками буровой бригады выполнена перетяжка участка каната длиной 270 м.

Несущую способность проконтролированного каната проверяли расчетом текущего запаса прочности по теории стальных канатов [13, 14] с учетом диагностированных и измеренных дефектов: частичной потери сечения и обрывов проволок. Расчет проводили с использованием ПО RopeStrength.

Последовательность операций прочностного расчета проконтролированного каната состоит из нескольких шагов. Рассчитывают показатели прочности для трех вариантов: каната без дефектов, каната с диагностированной ПС и каната с выявленными ЛД (обрывы проволок). Карты дефектности каната формируют на основе обработки дефектограмм по каналам ПС и ЛД. В каждом случае сначала вычисляют деформации и напряжения растяжения, изгиба и кручения в проволоках каната [13, 14]. Затем по соответствующему критерию прочности определяют максимальные эквивалентные напряжения $\max \sigma_{\text{экв}}$ в наиболее напряженной проволоке и рассчитывают коэффициент запаса прочности

$$n = \sigma_B / \max \sigma_{\text{экв}}, \quad (1)$$

где σ_B — 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) являются параметры $\chi_{\Delta F}$ и χ_A :

$$\begin{aligned} \chi_{\Delta F} &= 1 - n_{\Delta F} / n_0; \\ \chi_A &= 1 - n_A / n_0, \end{aligned} \quad (2)$$

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:

$$\chi = \chi_{\Delta F} + \chi_A. \quad (3)$$

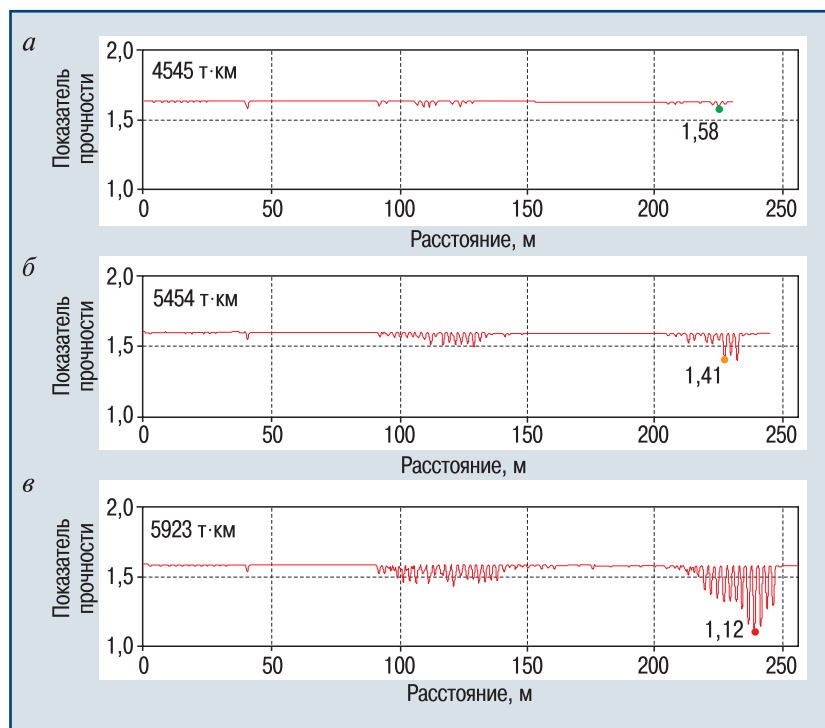
Коэффициент запаса остаточной прочности каната с дефектами определяют соотношением

$$\tilde{n} = n_0(1 - \chi). \quad (4)$$

Талевый канат на БУ УСПК-250 ЭК работал в условиях реверсивного изгиба на блоках с циклическим изменением напряженного состояния. При номинальном натяжении в 190 кН (вес талевого блока с оснасткой) канат в состоянии поставки имеет проектный запас прочности (коэффициент использования) по отношению к сертифицированному минимальному разрывному усилию $n_0 = 3,7$. Однако из расчета на выносливость [15] следует, что реальный запас прочности нового каната в этом случае всего $n_0 = 1,7$ (меньше заявленного более чем в два раза). Это обстоятельство следует иметь в виду при разработке руководства по безопасной эксплуатации талевых канатов, работающих на БУ в сходных условиях.

На рис. 8 показано распределение показателя прочности на участке контроля трех последних инспекций каната № 5, 6, 7 (см. таблицу). На рис. 8 хорошо видна зона накопления дефектов, которая отражена на дефектограммах, приведенных на рис. 5 и 6. За коэффициент запаса прочности каната с дефектами при его наработке принимается минимальное значение показателя \tilde{n} на контролируемом участке.

На рис. 9 показано изменение коэффициента запаса прочности каната с ростом наработки, рассчитанное по данным дефектоскопии (см. таблицу).

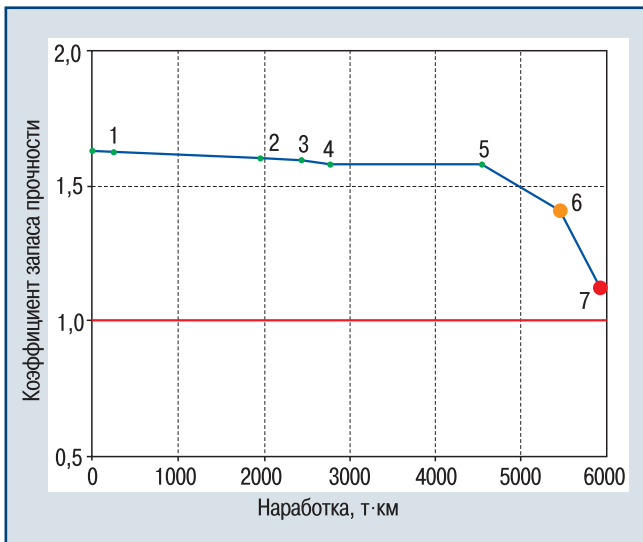


▲ Рис. 8. Распределение показателя прочности на участке контроля каната по данным диагностирования:

a — инспекция № 5; *б* — инспекция № 6; *в* — инспекция № 7

▲ Fig. 8. Distribution of the strength index at the rope control section according to the diagnosis data:

a — inspection № 5; *б* — inspection № 6; *в* — inspection № 7



▲ **Рис. 9. Изменение коэффициента запаса прочности каната в ходе эксплуатации**
 ▲ **Fig. 9. Change in the rope safety factor during operation**

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).

Таким образом, количественные результаты прочностного расчета соответствуют критериям допустимой дефектности, которые заложены в технологию автоматизированного мониторинга ТС талевых канатов и настройки БУИ дефектоскопа.

В целях подтверждения эффективности применения автоматизированного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО для обнаружения дефектов, определения степени износа талевого каната и осуществления браковки в соответствии с нормами, установленными ФНП [1], выполнены расплетение отрезка проконтролированного каната и подсчет фактического числа обрывов проволок. Из забракованного талевого каната вырезан кусок длиной 4 м. С использованием дефектоскопа ИНТРОС (МГ 20-40) проведен его инструментальный магнитный НК и определен наиболее дефектный участок длиной 1 м (рис. 10), что соответствует $30d$, где d — диаметр каната. Дефектограммы ПС и ЛД этого участка каната представлены на рис. 11.

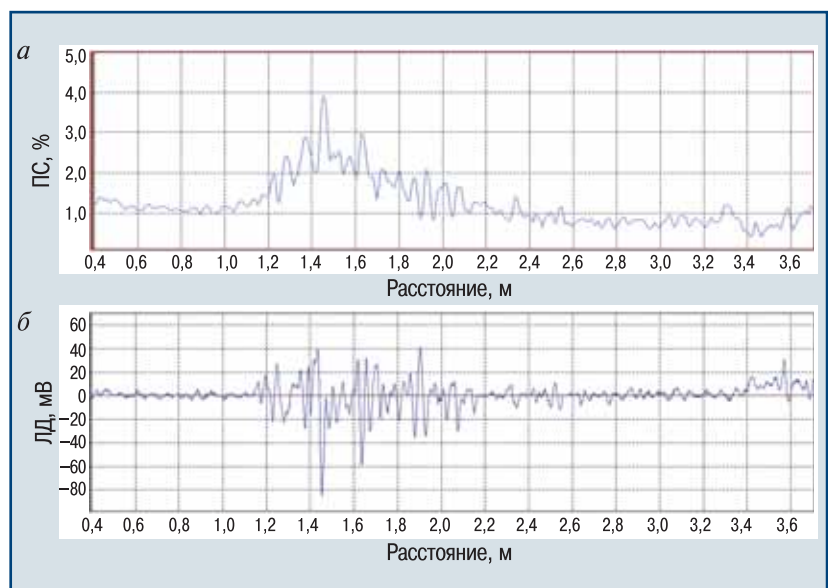
При расплетении продиагностированного талевого каната (рис. 12) у наружных прядей обнаружено: 1-я

прядь — 36 обрывов проволок, 2-я прядь — 27, 3-я прядь — 37, 4-я прядь — 24, 5-я прядь — 20, 6-я прядь — 23. Таким образом, на длине $30d$ (5 шагов свивки) выявлено 167 обрывов наружных проволок внешних прядей. Из 54 наружных проволок лишь на 7 не было обрывов. Обрывов проволок в сердечнике наружных прядей обнаружено не было. При расплетении 3 металлических прядей сердечника выявлено 28 обрывов проволок на длине $30d$. Обрывов проволок, обнаруженных на длине $6d$ (шаг свивки), — 27, что составляет 13 % общего количества проволок в канате. Согласно ГОСТ 33718—2015 [4] учитывается только один обрыв, независимо от того, сколько раз эта проволока обрывается на шаге свивки. Согласно ФНП [1] норма браковки каната данного типа — 21 оборванная проволока на шаге свивки.

Проведение ОПЭ автоматизированного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО для мониторинга ТС



▲ **Рис. 10. Дефектоскопия талевого каната**
 ▲ **Fig. 10. Wire rope defectoscopy**



▲ **Рис. 11. Дефектограммы ПС (а) и ЛД (б) талевого каната**
 ▲ **Fig. 11. Defectograms of the loss of section (a) and local defects (b) of the wire rope**



▲ Рис. 12. Проверка результатов дефектоскопии талевого каната (расплетение каната)
 ▲ Fig. 12. Checking the results of flaw detection of the wire rope (rope unweaving)

талевых канатов в условиях эксплуатации на действующих БУ подтвердило работоспособность и эффективность этого диагностического оборудования, относительную простоту и надежность его конструкции, а также удобство применения штатным персоналом буровых бригад.

Выводы

1. Организация мониторинга ТС талевых канатов БУ в процессе строительства эксплуатационных и поисково-разведочных скважин — важная задача, решение которой позволяет буровым компаниям снижать риски возможных аварий и, как следствие, финансовых и репутационных потерь. Большинство буровых компаний эта задача решается проведением ВИК, который позволяет обнаруживать лишь видимые дефекты талевых канатов. Развитие методов НК и расширение парка диагностического оборудования дают возможность буровым компаниям повысить эффективность и достоверность контроля ТС эксплуатируемого оборудования, а также безопасность производства буровых работ.

2. Диагностирование стальных канатов с использованием магнитного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО позволяет определять и измерять не только наружные, но и не обнаруживаемые при визуальном контроле (осмотре) дефекты внутренних прядей и проволок талевых канатов. Мониторинг ТС на основе предлагаемой технологии позволяет отслеживать степень износа талевого каната БУ, своевременно по результатам инструментального контроля (а не по величине расчетной наработки) выполнять перетяжку изношенного отрезка каната, обеспечивая необходимую безопасность работ при минимальных рисках.

3. Использование магнитной дефектоскопии, которая находит все более широкое применение в практике обследований ТС талевых канатов БУ и несущих стальных канатов других инженерных сооружений, должно опираться на соответствующую нормативную базу. Распространению практики проведения мониторинга ТС талевых канатов БУ с использованием магнитного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО послужит разработка руководства по

безопасности «Рекомендации по мониторингу технического состояния талевых канатов буровых установок эксплуатационного и глубокого разведочного бурения нефтяных и газовых скважин».

Список литературы

1. *Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 08. — Вып. 19. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 314 с.
2. *Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 10. — Вып. 81. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 150 с.
3. *ГОСТ 16853—88.* Канаты стальные талевые для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения. Технические условия. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/20/20966/> (дата обращения: 25.04.2018).
4. *ГОСТ 33718—2015.* Краны грузоподъемные. Проволочные канаты. Уход и техническое обслуживание, проверка и отбраковка. URL: <http://files.stroyinf.ru/Index/62/62027.htm> (дата обращения: 25.04.2018).
5. *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, 2018. — 16 с.
6. *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 on NDT.* — Roma, 2000. — P. 15–21.
7. *Sukhorukov V.* Steel wire ropes NDT: new instruments// *Proceedings of the 6th International Conference of the Slovenian Society for Non-destructive Testing.* — Portorož, 2001. — P. 225–230.
8. *Vorontsov A., Volokhovskiy V., Slesarev D.* Combined approach to damaged wire ropes life-time assessment based on NDT results and rope mechanics// *Journal of Physics: Conference series.* — 2011. — Vol. 35. — 9 p.
9. *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.
10. *Slesarev D., Sukhorukov D., Shpakov I.* Automated magnetic rope condition monitoring: concept and practical experience// *Proceedings of the OIPEEC Conference.* — La Rochelle, 2017. — P. 295–300.
11. *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, 2017. — С. 14–35.
12. *Отчет о результатах опытно-промышленных испытаний автоматизированного дефектоскопа ИНТРОС-АВТО для мониторинга стальных талевых канатов на действующих буровых установках УСПК-250 ЭК в Западно-Сибирской экспедиции глубокого бурения ООО «Таргин Бурение» в период с 26.03.2016 г. по 22.09.2016 г.* — М.: ООО «ИНТРОН ПЛЮС», 2016. — 31 с.

13. *Малиновский В.А.* Стальные канаты. В 2 ч. Ч. 2. — Одесса: Астропринт, 2002. — 180 с.
14. *Feyrer K.* Wire Ropes: Tension, Endurance, Reliability. — Berlin: Springer-Verlag, 2007. — 326 p.
15. *Когаев В.П.* Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. — М.: Машиностроение, 1977. — 232 с.

VolokhovskiyVY@mpei.ru

Материал поступил в редакцию 27 апреля 2018 г.

«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2018, № 6, pp. 13–22.
DOI: 10.24000/0409-2961-2018-6-13-22

Monitoring of Technical Condition of the Wire Ropes of Drilling Rigs for Production and Exploratory Drilling of Oil and Gas Wells: Technology, Efficiency, Prospects

D.A. Slesarev, Dr. Sci. (Eng.), Project Director

O.P. Potekhin, Deputy Commercial Director

I.I. Shpakov, Group Leader

INTRON PLUS, Ltd., Moscow, Russia

V.Yu. Volokhovskiy, Cand. Sci. (Eng.), VolokhovskiyVY@mpei.ru

A.N. Vorontsov, Cand. Sci. (Eng.)

FGBOU VO NIU MPEI, Moscow, Russia

Abstract

The issue of organization of monitoring technical condition of the wire rope — responsible bearing element of the rig structure is considered in the article. In the process of installation and round-trip operations during construction of wells, the wire rope is under high-intensity static and dynamic mechanical loads. In addition, the wire ropes of drilling rigs in the process of operation are subject to significant corrosion and friction wear. The proposed technology for monitoring technical condition of the wire ropes is based on the use of automated diagnostic devices that implement the magnetic method of nondestructive testing. This method is based on the registration of magnetically sensitive magnetic flux scattering sensors caused by the loss of the rope cross-section on the metal during operation due to corrosion and (or) the appearance of local defects (broken wire) from the active mechanical loads. The technology is described concerning monitoring technical condition of the wire ropes with the use of new diagnostic equipment — the INTROS-AVTO automated magnetic flaw detector. The results are given related to monitoring technical condition of the wire rope at one of the drilling rigs of OOO «Targin Burenie», which was carried out during the pilot-industrial tests of the automated INTROS-AVTO flaw detector. The strength of wire rope according to the diagnostics data was estimated. The efficiency of using automated magnetic flaw detector for ensuring trouble-free operation of the wire ropes of drilling rigs for production and exploratory drilling of oil and gas wells is illustrated.

Key words: wire rope, drilling rig, operating time, technical condition monitoring, magnetic nondestructive testing, diagnostics, distributed and local defects, residual load-bearing capacity.

References

1. Safety rules in oil and gas industry: Federal norms and rules in the field of industrial safety. Ser. 08. Iss. 19. Moscow: ZAO NTTs PB, 2018. 314 p. (In Russ.).

2. Safety rules for hazardous production facilities on which lifting devices are used: Federal norms and rules in the field of industrial safety. Ser. 10. Iss. 81. Moscow: ZAO NTTs PB, 2016. 150 p. (In Russ.).

3. GOST 16853—88. Steel wire ropes for operational and deep exploratory drilling. Technical specifications. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data1/20/20966/> (accessed: April 25, 2018). (In Russ.).

4. GOST 33718—2015. Lifting cranes hoisting. Wire lines. Care and maintenance, inspection and rejection. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Index/62/62027.htm> (accessed: April 25, 2018). (In Russ.).

5. Basic requirements for conducting non-destructive testing of technical devices, buildings and structures at hazardous production facilities: Federal norms and rules in the field of industrial safety. Ser. 28. Iss. 14. Moscow: ZAO NTTs PB, 2018. 16 p. (In Russ.).

6. 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 on NDT. Roma, 2000. pp. 15–21.

7. Sukhorukov V. Steel wire ropes NDT: new instruments. Proceedings of the 6th International Conference of the Slovenian Society for Non-destructive Testing. Portorož, 2001. pp. 225–230.

8. Vorontsov A., Volokhovskiy V., Slesarev D. Combined approach to damaged wire ropes life-time assessment based on NDT results and rope mechanics. Journal of Physics: Conference series. 2011. Vol. 35. 9 p.

9. Sukhorukov V.V., Slesarev D.A., Vorontsov A.N. Electro-magnetic inspection and diagnostics of steel ropes: technology, effectiveness and problems. Materials Evaluation. 2014. Vol. 72. № 8. pp. 1019–1027.

10. Slesarev D., Sukhorukov D., Shpakov I. Automated magnetic rope condition monitoring: concept and practical experience. Proceedings of the OIPEEC Conference. La Rochelle, 2017. pp. 295–300.

11. RD 03-348—00. Methodical instructions for magnetic flaw detection of steel ropes. Basic provisions. *Promyshlennaya bezопасnost pri ekspluatatsii gruzopodemnykh kranov: sb. dok.* (Industrial safety during operation of lifting cranes: collection of reports). Ser. 10. Iss. 7. 4-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTTs PB, 2017. pp. 14–35. (In Russ.).

12. Report on the results of pilot-industrial tests of INTROS-AVTO automated flaw detector for monitoring steel hoisting ropes at operating USPK-250 EK drilling rigs in the West Siberian deep drilling expedition of OOO «Targin Burenie» from 26.03.2016 to 22.09.2016. Moscow: «INTRON PLUS» Ltd, 2016. 31 p. (In Russ.).

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

14. Feyrer K. Wire Ropes: Tension, Endurance, Reliability. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 326 p.

15. Kogaev V.P. Strength calculations at stresses which are time-variant. Moscow: Mashinostroyeniye, 1977. 232 p. (In Russ.).

Received April 27, 2018