

УДК 622.245

А. С. Назмутдинов, А. А. Губайдуллин
ООО “ТНГ-АлГИС”

ОПЫТ РАБОТЫ ООО “ТНГ-АЛГИС” ПО ДИАГНОСТИРОВАНИЮ СТЕПЕНИ ИЗНОСА БРОНИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Рассмотрены результаты исследований технического состояния геофизических кабелей в процессе эксплуатации при помощи измерителя износа стальных канатов (дефектоскопа) “Интрос”. Описаны работы по адаптации аппаратуры к условиям геофизического предприятия. Приведены примеры различных видов дефектов геофизического кабеля, определенных при помощи дефектоскопа. Осуществлено прогнозирование развития дефектов кабеля.

Ключевые слова: каротаж, грузонесущий кабель, дефектоскопия, оборудование, результаты.

Одной из сложнейших проблем, решаемой технической службой геофизических предприятий, является определение текущего состояния брони геофизических кабелей. Конструкция геофизического кабеля схожа с конструкцией тросов, использующихся в промышленности для перемещения или удержания грузов или массивных конструкций. И трос, и кабель имеют грузонесущую оболочку, испытывающую переменные нагрузки. У тросов механические нагрузки принимают на себя пряжи, выполненные из высокопрочной стальной проволоки, уложенные на органический или металлический сердечник. В геофизическом кабеле роль грузонесущей оболочки исполняют два слоя оцинкованной проволоки, уложенных встречно, а сердечником являются один или несколько электрически изолированных проводов. Изолированные провода служат каналом связи между скважинным прибором и наземной регистрирующей аппаратурой. Геофизический кабель в процессе эксплуатации испытывает большие ударные и переменные нагрузки на растяжение и испытывает сильный абразивный износ от трения о стенки скважины или стальную колонну. Спускоподъемные операции на кабеле проводятся в скважинах, часто заполненных агрессивной жидкостью: соленая вода, пластовые жидкости с содержанием сероводорода, нефть с высоким содержанием сероводорода и промывочные жидкости, где остались следы кислот

и химреагентов, применяющихся для интенсификации отбора нефти из пластов. Комбинация всех этих нагрузок совместно с повышенной температурой и высоким давлением на забое скважины приводит к ускоренному износу кабеля. В настоящее время все виды отбраковки оплетки кабеля проводятся только визуально или инструментально, по внешнему видимому повиву брони кабеля. Что происходит с внутренним повивом брони – визуально не оценить, соответственно, нет возможности контроля. Попадающие в полость межслойного пространства агрессивные жидкости практически не вымываются и оседают на внутреннем повиве брони кабеля. Конструкция брони кабеля при нагрузке-разгрузке позволяет незначительно сдвигать слои брони относительно друг друга, а это в свою очередь позволяет пластовым жидкостям смывать консервирующую смазку. В процессе эксплуатации межвитковое пространство кабеля заполняется технологическими жидкостями – нефтью, соленой водой, химическими реагентами, используемыми для оптимизации дебита скважин. В дальнейшем эти жидкости создают идеальные условия для коррозионных очагов, которые визуально невозможно отследить. Соответственно коррозия металла в межслойном пространстве приводит к ухудшению прочностных характеристик кабеля. Этот вид износа трудно поддается измерениям, и в лучшем случае для определения состояния внутреннего слоя брони кабеля необходимо вырубать его отдельные участки и испытывать на разрывной машине. Этот способ контроля неприменим в том случае, когда необходимо определить состояние кабеля по всей длине и требуется обеспечить целостность всего куска кабеля. Поэтому одной из актуальнейших задач при эксплуатации геофизического оборудования является непрерывный мониторинг технического состояния геофизического кабеля, его электрических и прочностных характеристик.

Если электрические характеристики кабеля можно измерить, а также определить с точностью до одного метра место повреждения изоляции сердечника с помощью электронных приборов, то с броней дело обстоит иначе. Существует норматив [4], предписывающий визуальное определение обрывов проволок брони и контроль износа верхней оболочки кабеля инструментально при помощи штангенциркуля, относительно внутренней брони нет и речи. Существующие дефектоскопы типа ИРК-ПРО (армограф – измеритель прочности брони геофизического кабеля при перематке через датчик прибора)

не позволяют определить обрывы внутренних проволок брони и отследить коррозионный износ внутри оплеток кабеля. Этот прибор также не отличает ржавчину от чистого металла, так как основан на определении величины наведенной индукции.

К поиску новых методик и аппаратуры, позволяющей определить техническое состояние кабеля, авторов привела череда аварийных случаев, когда кабель, не имеющий видимых изъянов, рвался в скважине при небольших нагрузках. Для определения износа кабеля требовался аппарат, который можно было бы калибровать под определенный вид кабеля и использовать для обнаружения места обрыва отдельных проволок брони. Наиболее подходящим под эти требования оказался измеритель износа стальных канатов (дефектоскоп) “Интрос”, созданный в Московском государственном энергетическом институте. Технические решения, примененные в дефектоскопе “Интрос”, защищены патентом России 2204129. Критерии браковки талевых канатов, реализованные в “Интрос-Авто”, соответствуют Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности: “Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности”, введенные приказом № 101 от 12 марта 2013 г., “Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения”, введенные приказом № 533 от 12 ноября 2013 г., и Инструкция по эксплуатации талевых канатов, разработанная РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина в 2001 г.

К основным метрологическим характеристикам дефектоскопов канатов относят погрешность измерения относительной потери сечения и порог чувствительности к обрыву проволок.

Технические характеристики

- Диаметры контролируемых канатов – от 6 до 24 мм
- Размеры – 235×230×64 мм
- Масса – 3 кг
- Скорость движения каната относительно МГ – от 0 до 1 м/с
- Погрешность измерения потери сечения – 2%
- Порог чувствительности к обрыву проволок – 1,0%
- Исполнение IP54

Дефектоскоп одновременно измеряет *относительную потерю сечения* (ПС) каната по металлу и выявляет наружные и внутренние

локальные дефекты (ЛД), например обрывы проволок и прядей, пятна коррозии, места сварки проволок. В комплекте с дефектоскопом поставляется программное обеспечение Wintros.

Стальной канат имеет схожую по конструкции с кабелем структуру, поэтому авторы связались с разработчиками прибора и выслали им несколько отрезков разного типа кабеля. По результатам испытания дефектоскопа на этих образцах получили от фирмы-изготовителя положительное заключение о возможности применения магнитного неразрушающего контроля на испытуемых кабелях. Затем для испытания возможностей дефектоскопа МГЭИ командировал специалиста-дефектоскописта для проведения серии замеров на геофизических кабелях. Эти замеры проводили как во время промера кабеля на стационарной разметочной установке УРС10-10, так и во время геофизических измерений на скважине. Опыт показал, что наиболее эффективна работа дефектоскопа во время разметки кабеля магнитными метками. Совместив эти операции, добились периодичности измерений дефектоскопом, к тому же удалось оборудовать рабочее место дефектоскописта удобнее в стационарных условиях.

В ходе эксплуатации кабеля часто появляются обрывы проволок брони. Для внешнего слоя брони существует норматив [4] – не более трех обрывов проволок брони на 1 км длины кабеля. Для внутреннего слоя брони отсутствует или не разработан норматив по количеству оборванных проволок. То, как эти дефекты влияют на прочностные характеристики кабеля, никто не исследовал. Для простого троса существует норматив [3] в виде количества оборванных проволок по отношению к диаметру троса.

Как показала практика, в ряде замеров дефектоскопом “Интрос” у совершенно новых кусков кабеля наблюдаются довольно четко отслеживаемые нарушения в виде локальных дефектов. Снаружи в этих участках дефекты в виде обрывов проволок брони визуалью не определяются, следовательно, эти дефекты существуют во внутреннем слое брони. У разных производителей отмечаются кратные определенной длине сродки или сварные соединения проволок брони [5] в виде локальных дефектов. Вероятнее всего, что при строительстве кабеля для внутренней брони использовались бобины проволоки с меньшей длиной, чем строительная длина кабеля. А то, как соединены эти куски проволоки брони (сваркой или просто установлены встык), можно отследить после вытяжки либо спустя

какой-то временной промежуток при интенсивной эксплуатации этого кабеля. При отсутствии или нарушении сварного соединения расстояние между концами соединенных встык проволок брони будет увеличиваться при вытяжении кабеля, что хорошо видно на кривой ЛД. Сварные соединения единичных проволок троса (кабеля) на диаграммах выделяются как увеличение сечения, то есть кривая ПС в месте сварки стремится к нулю.

Дефектоскоп “Интрос” состоит из электронного блока (ЭБ) и магнитной головки (МГ) со сменным блоком датчиков (БД) (рис. 1). К ЭБ может быть подключена любая МГ для контроля соответственно круглых и плоских стальных, а также резинотросовых канатов. Одновременно к электронному блоку может быть подключена только одна МГ.

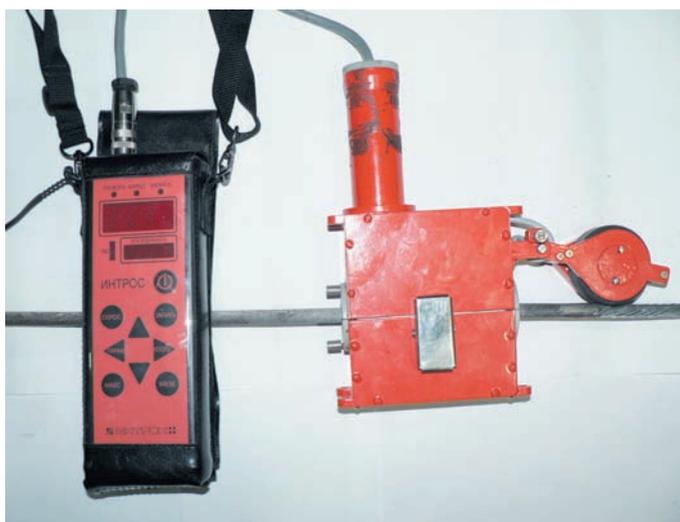


Рис. 1. Дефектоскоп “Интрос”

Магнитная система намагничивает участок контролируемого каната. Магнитные поля рассеяния, вызванные дефектами каната, создают на выходе блока датчиков электрический сигнал, который после усиления и преобразования в цифровую форму обрабатывается в микропроцессоре. В микропроцессор поступают также импульсы со

счетчика метража. Получаемая информация запоминается и выводится на световой индикатор ЭБ, а также может быть передана на внешний компьютер для хранения, обработки и последующего анализа.

Конструктивно МГ выполнена в виде постоянного разъемного магнита вместе со съемными БД. МГ рассчитана таким образом, что контролируемый канат предварительно намагничивается до насыщения. При износе каната и уменьшении его диаметра параметры петли гистерезиса также уменьшаются. Изменение величины индукции B измеряется датчиками Холла, установленными в БД. Магнитный поток, проходящий через канат, при уменьшении сечения каната уменьшается, а по воздуху – увеличивается, так как напряженность поля постоянных магнитов МГ остается неизменной. Датчики Холла измеряют магнитный поток Φ_0 , а также тангенциальную составляющую потока рассеяния Φ_d над локальным дефектом в канате. Принципиальная схема магнитной головки для круглых канатов с блоком датчиков представлена на рис. 2.

Получаемая с блока датчиков информация записывается по двум каналам: каналу потери сечения и каналу локальных дефектов. Обра-

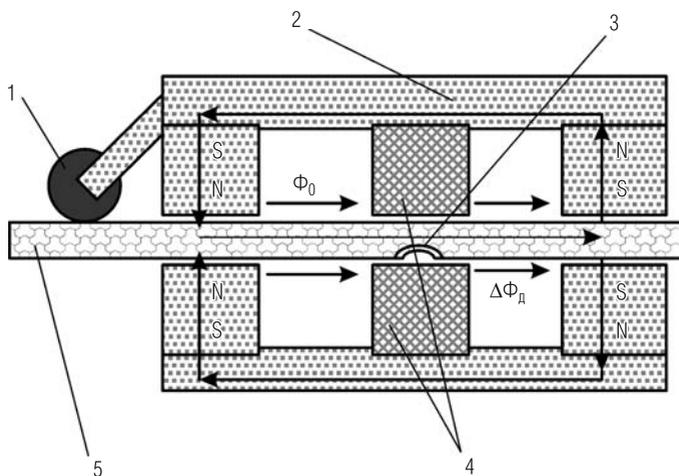


Рис. 2. Схема магнитной головки дефектоскопа «Интрос» для круглых канатов: 1 – счетчик метража; 2 – магнитная головка; 3 – локальный дефект; 4 – блоки датчиков; 5 – канат или кабель

ботка на компьютере и анализ полученных дефектограмм позволяют оценить как общую потерю сечения каната, так и наличие локальных дефектов (обрывов проволоки) на поверхности и внутри каната. Примеры дефектограмм приведены на рис 3.

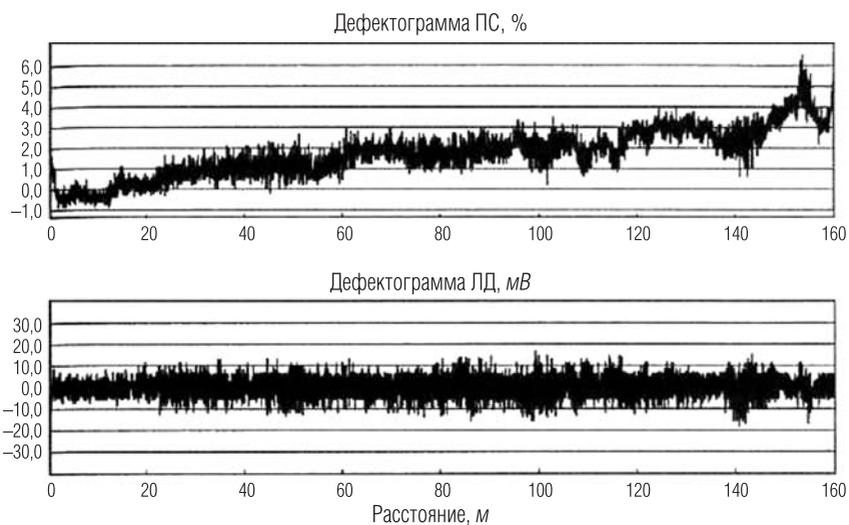


Рис. 3. Примеры дефектограмм

Дефектоскоп “Интрос” был испытан специалистами ООО “ТНГ-Групп” при участии представителя фирмы “Интрос” на различных типах геофизических кабелей. В процессе испытания был изготовлен контрольный образец (отрезок геофизического кабеля длиной 7 м) с искусственными дефектами. В процессе испытания прибор показал все искусственные дефекты. Фрагменты дефектов показаны на рис. 4.

На рис. 4 видно, что в геофизическом кабеле отсутствуют пряди – искусственно создана зона потери сечения (зона 3), равная 24,2% (вычисленный параметр). Контрольный замер дефектоскопом подтвердил, что потеря сечения на данном участке кабеля составила 24%. Также создана зона с разорванной проволокой брони (зона 1). Локальный дефект, имеющий зазор 1 мм, подтверждается на дефектограмме в виде небольшого скачка. Зона 2 – граница участка с потерей сечения: стальная бронь залита оловом.

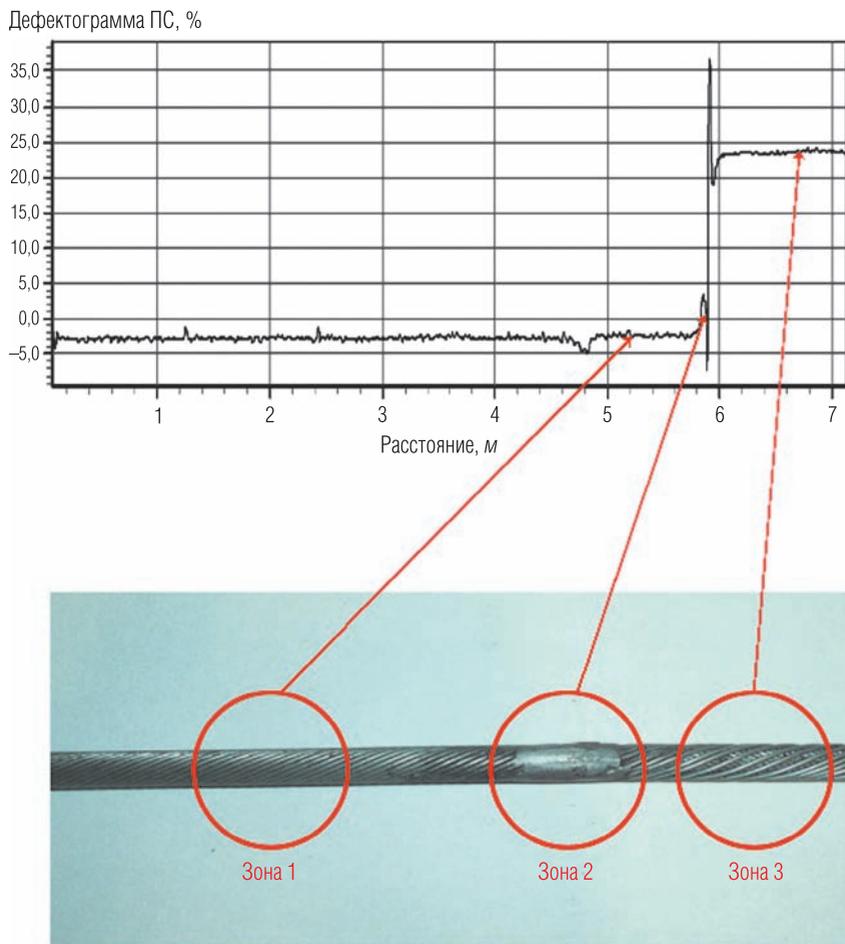


Рис. 4. Результаты дефектоскопии геофизического кабеля

Стенд для дефектоскопии геофизических кабелей был встроен в линию разметки кабеля магнитными метками типа УРС10-10. Мобильный вариант дефектоскопа “Интрос” был максимально переработан, для чего использовались соответствующие приспособления и устройства (рис. 5, 6). В результате удалось совместить операции дефектоскопии и разметки кабеля магнитными метками.



Рис. 5. Калибровка блока датчиков на кабеле, не имеющем износа



Рис. 6. Стенд для дефектоскопии кабеля

На линии приема кабеля был установлен столб с несимметрично закрепленными роликами для стабилизации горизонтальных перемещений кабеля при движении и для уменьшения механического износа деталей дефектоскопа. На снимке виден желтый блок (блок постоянных магнитов – металл кабеля намагничивается до состояния,

близкого к магнитному насыщению); оранжевый блок измерения проводит регистрацию технического состояния проволок брони; блок размагничивающий из нержавеющей стали стирает наведенную магнитную индукцию. Стенд расположен перед разметочной установкой УРС10-10 и позволяет совместить процессы дефектоскопии и промера кабеля. Рабочее место оператора-дефектоскописта оборудовано компьютером с программой визуализации процесса измерения Wintros-RTV – на экране монитора оператор видит в реальном времени диаграмму износа.

Такая схема позволяет одновременно определять степень износа кабеля и визуально выявлять изношенные или дефектные куски, пометить их краской и вырубить после промера.

Процесс дефектоскопии геофизических кабелей проводится в несколько этапов:

1. Исследуемый участок кабеля намагничивается до полного насыщения при движении через намагничивающий блок с мощными магнитами.
2. Блок датчиков, установленный за намагничивающей головкой, анализирует магнитные поля рассеяния, вызванные дефектами кабеля. На выходе блока датчиков появляется электрический сигнал, который после усиления и преобразования в цифровую форму обрабатывается в микропроцессоре. В микропроцессор поступают также импульсы со счетчика метража. Получаемая информация запоминается и выводится на светодиодные индикаторы электронного блока (рис. 1), а также может быть передана на внешний компьютер для хранения, обработки и последующего анализа.
3. Далее кабель проходит через размагничивающее устройство и подвергается разметке с помощью магнитных меток.

По результатам пробной эксплуатации авторам пришлось отказаться от возможности применения комплекта сменных датчиков. При выполнении дефектоскопии обжимающие кабель вкладыши выдавливают из межвиткового пространства технологические жидкости, воду и нефть, которые в дальнейшем попадают на негерметичные контакты блока датчиков и даже проникают в электронный блок. В связи с этим были выполнены работы по герметизации блока датчиков. Стандартный кабель связи блока датчиков с блоком управления удлинители до 8 м, что позволило подключить электронный блок к компьютеру и во время дефектоскопии наблюдать диаграммы потери сечения и

локальных дефектов в реальном времени. Скорость дефектоскопии имеет ограничение до 3600 м/ч, затем происходит сбой информации.

На прилагаемых протоколах программа обработки выводит привязанные к длине кабеля участки дефектов с максимально изношенными участками с приложением диаграмм потери сечения и локальных дефектов по всей длине исследованного участка.

Рассмотрим несколько дефектограмм.

1. Протокол исследования технического состояния кабеля от 22.07.2014 г. (специализация – электрический каротаж, РК). Типичный вид дефектограммы кабеля в нормальных условиях эксплуатации (рис. 7).

Рекомендации метролога: износ кабеля в пределах нормы, допущен к дальнейшей эксплуатации. Необходимо усилить контроль за износом кабеля в интервале 0–180 и 300–380 м.

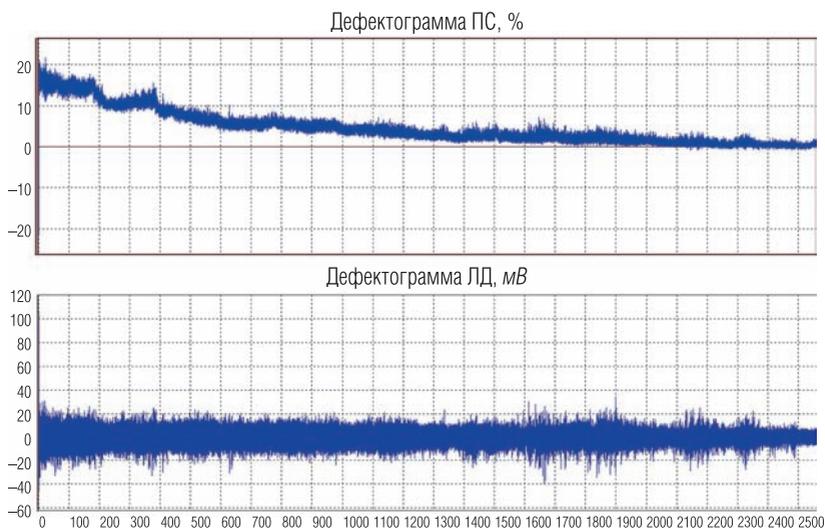


Рис. 7. Дефектограммы кабеля в нормальных условиях эксплуатации

2. Протокол исследования технического состояния кабеля от 20.03.2014 г. (специализация – пострелочно-взрывные работы). Тестируемый кабель: марка КГЗ×0,75-60-150, общая длина 3800 м, пробег 2359 км. Дата ввода в эксплуатацию 29.04.2012 г.

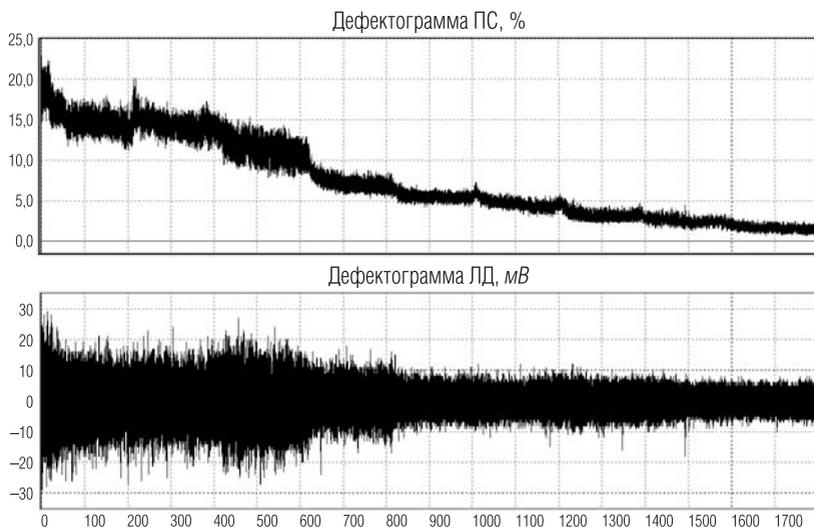


Рис. 8. Дефектограммы при повышенном износе кабеля у кабельного наконечника

Визуально отмечается высокая дифференциация кривой ПС в интервале 0–600 м и повышенный износ кабеля у кабельного наконечника (рис. 8). Инструментальный замер штангенциркулем показывает, что износ поверхности кабеля у кабельного наконечника составляет 20,1%. На диаграмме потери сечения (ПС = 19,57% на 14,67 м) видим высокую степень износа кабеля в интервале 0–48 м. На кривой ЛД в интервале 0–40 м отмечается большое количество оборванных внутренних проволок брони, близких к критическим значениям; интервал 30–650 м отмечается повышенным количеством оборванных проволок брони – вероятно, это вызвано многократными ударными нагрузками от взрывной волны при проведении прострелочно-взрывных работ. Далее в интервале 600–1800 м отмечается естественный износ кабеля.

Рекомендация метролога по дальнейшей эксплуатации кабеля: вырезать 60 м кабеля с повышенным износом, переzapравить кабельный наконечник. При выполнении рекомендаций кабель допускается к дальнейшей эксплуатации.

3. Протокол исследования технического состояния кабеля от 28.10.2013 г. (специализация – исследование скважин действующего

фонда). Тестируемый кабель: марка КГЗ×0,75-60-150, общая длина 4000 м, пробег 2115 км. Дата ввода в эксплуатацию 29.04.2012 г.

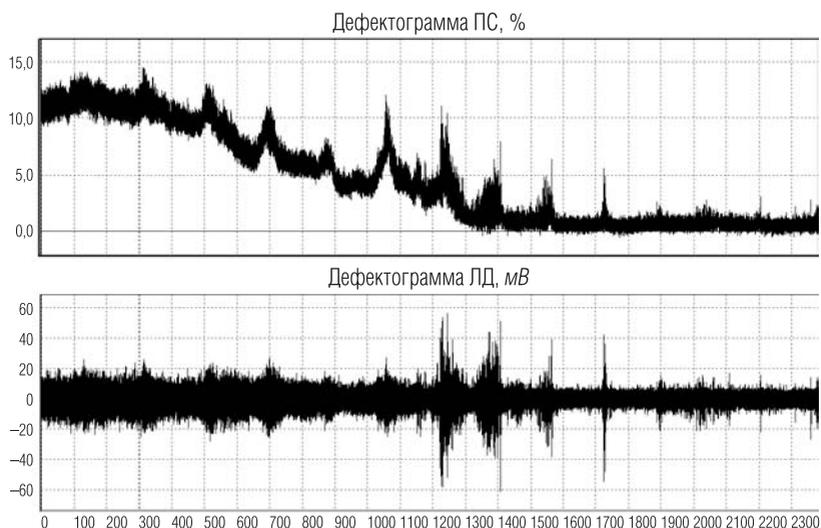


Рис. 9. Пример дефектограмм

Визуально отмечается износ кабеля у кабельного наконечника (рис. 9). Инструментальный замер штангенциркулем показывает износ поверхности кабеля у кабельного наконечника 12,9%. На диаграмме потери сечения (ПС = 14,5% на 320 м) видим высокую степень износа кабеля в интервале 100–500 м, однако наибольшую опасность представляет менее изношенный участок 1210–1405 м ввиду наличия на этом участке скрытых дефектов – обрывов внутренних проволок брони, что хорошо отслеживается на кривой ЛД. Высокие показания кривой ЛД в интервале 0–1500 м указывают на возможное повреждение внутренних проволок брони от воздействия на кабель кислоты, применяемой для интенсификации дебита скважин, то есть кабель работал в скважинах, недостаточно чисто промытых после кислотной обработки продуктивных пластов. В связи с вышесказанным необходимо отслеживать износ этого куска кабеля и при достижении параметров, близких к критичным, изымать данный кабель из эксплуатации.

Рекомендации метролога: износ кабеля в пределах нормы, допущен к дальнейшей эксплуатации. Необходимо усилить контроль износа кабеля в интервале 0–300 м (кривая ПС), и 1220–1410 м в связи с наличием в этом интервале большого количества нарушений внутреннего слоя брони (кривая ЛД).

Программа обработки дефектограмм Wintros 2,5 в автоматическом режиме формирует “Протокол исследования”, в котором величина степени износа и имеющиеся локальные дефекты наглядно представлены в виде графиков, что позволяет оперативно принимать решения о возможности использования исследованных кусков кабеля.

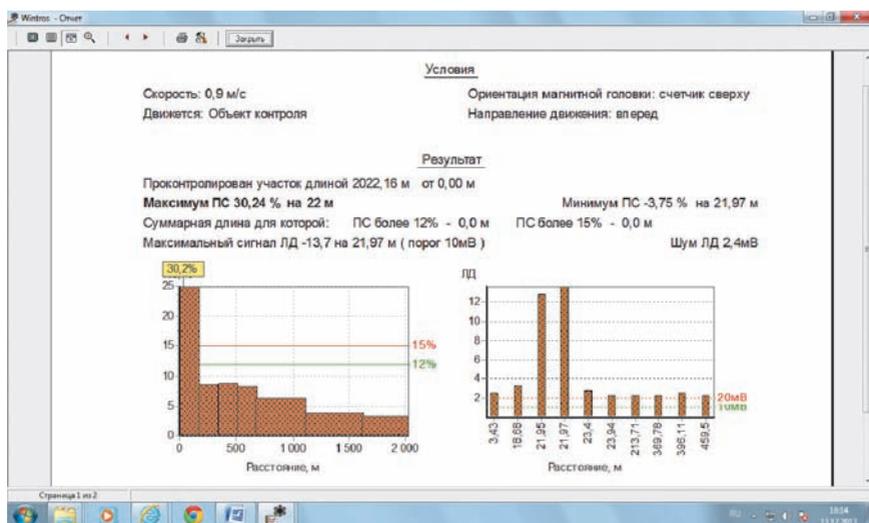


Рис. 10. Типовой протокол исследования износа и локальных дефектов геофизического кабеля

В настоящее время дефектоскоп “Интрос” внедрен на участке промера и ремонта кабеля, обучены операторы по дефектоскопии кабелей, ведутся работы по созданию базы данных о техническом состоянии находящихся в эксплуатации геофизических кабелей.

Эффективность использования дефектоскопа можно проследить по хронологии аварий за 2013–2014 гг.:

- в течение 2013 г. произошло 5 серьезных аварий, связанных с геофизическим кабелем: из них при ликвидации аварий в трех

случаях (причина аварии – прихват прибора) произошли обрывы по телу кабеля и в двух случаях – кабель вышел из заделки кабельного наконечника;

- в 2014 г. (начало использования дефектоскопа) произошло 7 аварий, связанных с геофизическим кабелем. При ликвидации аварий, где был прихвачен прибор (5 случаев), геофизический кабель вышел из заделки кабельного наконечника. Одна авария произошла с обрывом кабеля по телу в подразделении, где не проводилась дефектоскопия кабеля. Еще одна авария произошла с обрывом кабеля по телу в результате попадания кабеля в трещину (нарушение) эксплуатационной колонны.

Эффект от эксплуатации данной аппаратуры заключается в более ранней диагностике технического состояния кабеля, что дает возможность прогнозировать прочностные характеристики исследованных участков и вовремя отказываться от негодных кусков, не доводя дело до несчастных и аварийных случаев.

Эксплуатация дефектоскопа на протяжении одного года показала, что аппаратура “Интрос” применима для дефектоскопии геофизических кабелей и по сравнению с аппаратурой других производителей обладает более высокой достоверностью и возможностью проведения калибровки под определенную марку кабеля, что повышает достоверность показаний, а также создания эталонных образцов кабелей из новых, не подверженных коррозии отрезков кабеля разных марок. Для калибровки дефектоскопа на ПС% был смонтирован стенд на стене с четырьмя новыми отрезками наиболее распространенных видов кабеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 3241-91. Канаты стальные. Технические условия.
2. ГОСТ Р 51978-2002. Кабели грузонесущие геофизические бронированные.
3. РД РОСЭК 012-97 № 12-7/118 от 11.02.1997 г. Канаты стальные: контроль и нормы браковки.
4. РД 153-39.0-072-01. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М., 2002.
5. Сухоруков Д. В. Неразрушающий контроль и диагностика состояния стальных канатов: проблемы и решения // Глюкауф. 2007. № 3.

Рецензент канд. техн. наук Н. Г. Козыряцкий