



Обмен опытом

Experience of Acceptance Acoustic Inspection and of Rod Strengthening During Service Maintenance

G. A. Budenkov, O. V. Korobeynikova, N. A. Kokorin, V. A. Strizhak

New technology of acceptance acoustic inspection of extended objects, means of its realization during service maintenance of rods and results of using NDT and rod strengthening in conditions of maintenance depot are described.

Опыт приемочного акустического контроля насосных штанг при сервисном обслуживании

14

Об авторах

Сотрудники Ижевского государственного технического университета:



**Буденков
Гравий Алексеевич**

Профессор, д. т. н., лауреат Государственной премии Удмуртской республики.



**Коробейникова
Ольга Владимировна**

Профессор, д. т. н., лауреат Государственной премии Удмуртской республики.



**Кокорин
Николай Анатольевич**

Доцент, к. т. н., лауреат Государственной премии Удмуртской Республики.



**Стрижак
Виктор Анатольевич**

Доцент, к. т. н.

В настоящее время около 70 % нефтяных скважин эксплуатируется штанговыми скважинными насосными установками (ШСНУ). Одной из основных проблем, связанной с эксплуатацией скважин, оборудованных ШСНУ, является частый выход из строя насосных штанг (НШ) вследствие усталостного разрушения, вызванного значительными циклически-

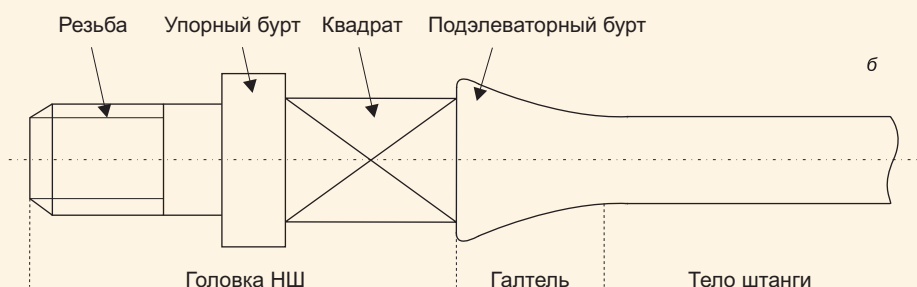
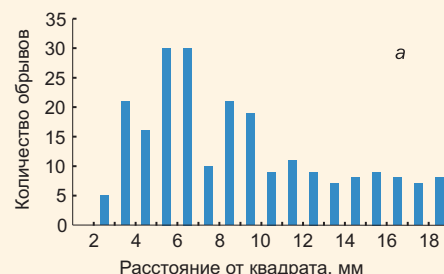


Рис. 1. Распределение количества обрывов по переходной части от квадрата к телу штанги ШН22 (а) и вид головки насосной штанги (б)

ми напряжениями, влиянием агрессивных сред, механическим износом и разупрочнением, а также наличием производственных дефектов.

В связи с этим вопросы повышения надежности и долговечности НШ приобрели особую актуальность. Анализ мест возникновения обрывов серийной штанговой колонны показывает (рис. 1), что 75 % обрывов приходится на галтель и тело НШ, из них около 60 % – разрушение по галтели на участке 20 – 110 мм от подэлементарного бурта.

К значительной экономии при эксплуатации скважин, оборудованных ШСНУ, приводит увеличение межремонтного периода работы скважин за счет снижения числа подземных ремонтов по

причине обрывов НШ. Одним из наиболее простых и эффективных методов увеличения ресурса работы скважины является повышение надежности, долговечности НШ при сервисном обслуживании, включающем приемочный НК тела НШ и упрочнение галтельного участка.

ООО «Научно-производственный инженерный центр «Качество» разработал комплекс оборудования для дефектоскопии и упрочнения НШ (КУДНШ), реализующий принципиально новые технологии акустической дефектоскопии НШ (модуль АДНШ, сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.27.005A № 26957) и функционально ориентированного упрочнения (модуль УУНШ). Эти модули работают по

единому технологическому циклу и расположены на одной производственной площадке. Комплекс может использоваться для сервисного обслуживания как новых, так и бывших в эксплуатации НШ трех основных типоразмеров – ШН19, ШН22, ШН25 по ГОСТ 13877-96 [1] в условиях ремонтных баз технического обслуживания НГДУ, а также на предприятиях, выпускающих НШ.

контроля. Например, при работе скважины НШ, в основном, подвергаются одноосному растяжению-сжатию, поэтому при контроле используется симметричная стержневая волна S_0 , распространение которой сопровождается деформацией растяжения-сжатия. Участки тела штанги, где реакция на такие воздействия отличается от других, имеют отклонение величины механического импеданса от

являются опасными, могут развиваться при работе скважины и стать причиной обрыва НШ.

Принцип действия АДНШ основан на использовании эхо-импульсного метода. Конструктивно дефектоскоп представляет собой стационарную установку (рис. 2) и включает в себя блоки электро-акустических преобразователей ЭАП, блоки генератора зондирующих импульсов и

ля и упрочне- живании

Акустическая дефектоскопия тела насосной штанги

При сервисном обслуживании НШ в условиях НГДУ используют магнитоиндукционный и вихретоковый методы контроля, имеющие общий недостаток – необходимость сканирования тела НШ, что требует соответствующего оборудования и снижает производительность установок. Несмотря на преимущество бесконтактной работы, указанные методы выявляют лишь поверхностные и приповерхностные дефекты. Основная проблема при их использовании – сложность идентификации дефектов ввиду отсутствия однозначной связи между механическими свойствами объекта контроля и измеряемыми магнитными и электрическими величинами. К существенным недостаткам относятся также чувствительность к изменениям зазора, магнитных свойств штанги, необходимость натяжения НШ при контроле и остаточная намагниченность.

Входящий в состав комплекса КУДНШ акустический дефектоскоп насосных штанг (АДНШ) разработан на основе новой, прогрессивной технологии акустического контроля протяженных объектов, длина которых многократно превышает размеры поперечного сечения [2]. К таким объектам относятся: прутки, трубы, проволока и изделия из них – НШ, автомобильные и железнодорожные пружины, насосно-компрессорные трубы и др.

Используемая технология предусматривает выбор того типа волн, при распространении которых создаются напряженные состояния, подобные возникающим при эксплуатации объекта

среднего значения: $Z_{\text{мех}} = \rho CS = (E\rho)^{1/2}S$, где ρ – удельная плотность металла, C – скорость продольной акустической волны, S – площадь поперечного сечения. Измерение механического импеданса позволяет оценить взаимодействие акустических волн с дефектами, уменьшающими поперечное сечение НШ: плены, закаты, утяжины, вмятины, инородные включения, поперечные трещины, но не описывает взаимодействие с дефектами, не изменяющими S , ρ и C .

К таким дефектам относятся продольные трещины с малым раскрытием и малой глубиной, например, волосины. Последние являются концентраторами механических напряжений, на краях которых при прохождении зондирующего импульса возникают области напряжения, в десятки раз превышающие среднее значение по сечению объекта контроля. Такие области в моменты роста и спада напряжений излучают акустические импульсы [3], распространяющиеся по волноводу в обе стороны и достигающие преобразователя, порождая «эхо-импульсы». Поэтому можно утверждать, что именно такие выявляемые дефекты

предусилителя ГПУ, блок усиления, коммутации и источника питания УКП и персональный компьютер ПК с блоком АЦП (аналого-цифрового преобразователя) и специализированным программным обеспечением. Генератор блока ГПУ вырабатывает электрический импульс, подаваемый на излучатель блока ЭАП, что приводит к возникновению акустического импульса, распространяющегося в НШ со скоростью стержневой волны. Акустический импульс, отраженный от дефектов НШ и от противоположного торца НШ, регистрируется на том же торце приемником блока ЭАП и в виде электрического сигнала поступает на предусилитель блока ГПУ. Блок коммутации УКП поочередно включает в работу оба акустических канала. Дефектоскопия производится с двух торцов НШ с целью уменьшения неконтролируемых (мертвых) зон со стороны блоков ЭАП. При этом длина неконтролируемых концевых участков штанг не превышает 150 мм.

Электрический сигнал с усилителя УКП поступает на вход АЦП и далее в память ПК. Подлежащие контролю НШ раскладываются в один ряд на специ-

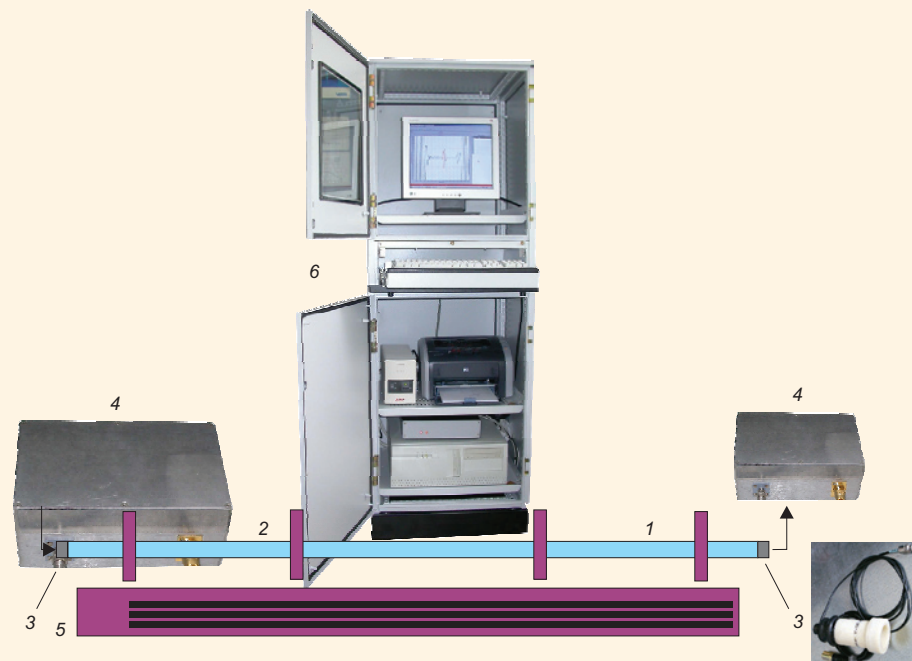


Рис. 2. Блок-схема АДНШ: 1 – объект контроля; 2 – стеллаж для контроля; 3 – блок электро-акустических преобразователей; 4 – блоки генератора и предварительного усилителя; 5 – стеллаж бракованных объектов; 6 – промышленный шкаф с оборудованием (блок управления, коммутации и питания, системный блок компьютера с АЦП, источник бесперебойного питания, принтер, монитор)

альном стеллаже. В течение не более 10 с после установки блоков ЭАП на торцы НШ производится контроль. Датчики переставляются на следующий объект, процесс повторяется. Забракованные объекты транспортируются на стеллаж брака, годные – на следующую технологическую операцию.

Результатом контроля являются дефектограммы по двум каналам в графическом

ролю и металлографическим исследованиям. Результаты исследования (рис. 4) подтвердили во всех случаях наличие поверхностных и внутренних дефектов: уменьшение диаметра тела штанг «утяжина» – 31 %; раковины – 26 %; отслоения – 18 %; смешанные дефекты (присутствуют одновременно дефекты разных типов) – 20 %; переполнения при прокатке – 2 %; закаты – 1,6 %;

информации по типам и степени опасности дефектов, выявляемых при контроле.

Упрочнение и визуальный контроль галтели и тела НШ

Разработанный метод акустического контроля НШ позволяет выявлять дефекты в теле штанги за исключением мертвой зоны около 150 мм от

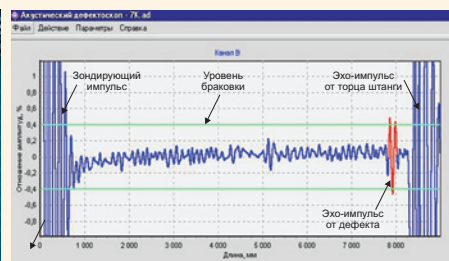


Рис. 3. Типичная дефектограмма НШ

ческом (рис. 3) и табличном видах с информацией о длине контролируемой НШ, координатах обнаруженных дефектов и амплитудах эхо-сигналов от них. С целью отстройки от качества акустического контакта и эффективности возбуждения волны в различных марках стали амплитуда эхо-импульса от дефекта нормируется к амплитуде первого эхо-импульса от торца штанги. Амплитуда эхо-импульса от дефекта является основой для автоматического предположения о годности или браке штанги в соответствии с уровнем браковки. Уровень браковки может быть рассчитан, например, исходя из предельного отклонения диаметра тела штанги от номинального значения в соответствии с ГОСТ 13877-96 [1]. В соответствии с этой нормой изготовлены настроечные образцы штанги (НОШ). В качестве моделей дефектов тела НШ используются сегментные пазы протяженностью около 30 мм с максимальной глубиной, не превышающей предельного минусового отклонения диаметра штанги (0,4 – 0,5 мм для НШ19, НШ22, НШ25). Эталонные меры для настройки и поверки акустических дефектоскопов АДНШ с указанными моделями дефектов внесены в реестр средств измерений (сертификат RU.E.27.003A № 25470). По уровню браковки возможна сортировка НШ по группам в зависимости от условий эксплуатации: годные, условно годные, условно бракованные, бракованные.

С целью выработки практических рекомендаций по использованию акустического дефектоскопа АДНШ для контроля НШ на ОАО «Белкамнефть» и ЗАО «Мотовилихинский завод нефтепромыслового оборудования» проведен контроль 30000 прутков-заготовок и НШ, брак составил более 3 %. Забракованные НШ подвергались визуальному конт-

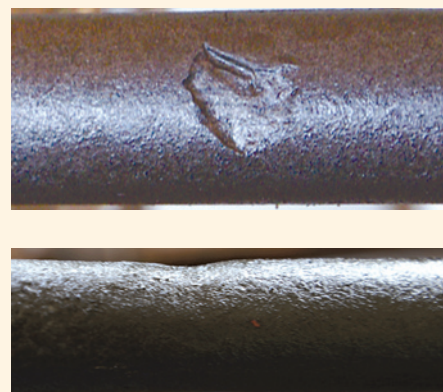
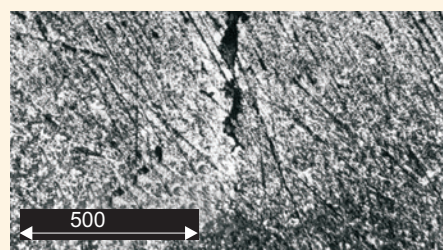
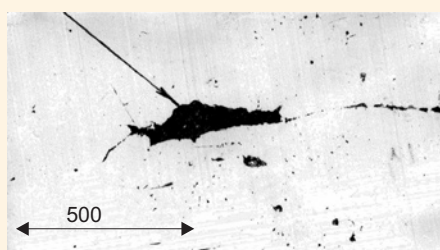
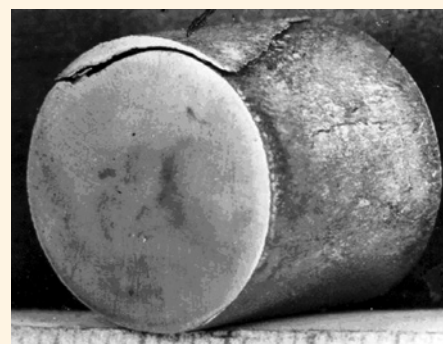
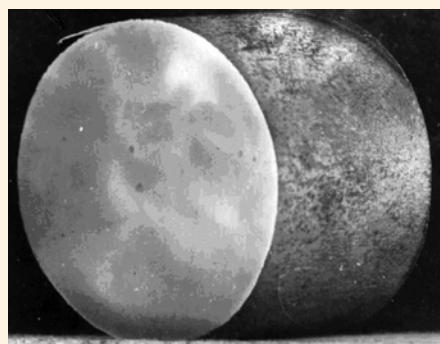


Рис. 4. Фото дефектов НШ, обнаруженных АДНШ: а – закат; б – пленка; в – шлаковое включение; г – волосовина; д – неметаллические включения; е – вмятина; ж – утяжина

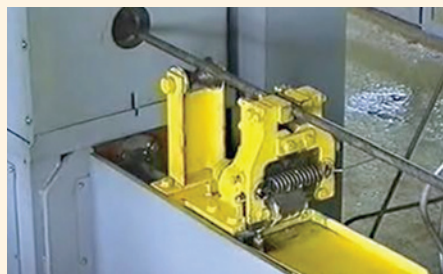
трещины и волосовины – 1,4 %. Также обнаружена местная загрязненность неметаллическими включениями и отдельные шлаковые включения площадью более 3 мм². Исследования показали, что принятый в дефектоскопе в соответствии с НОШ уровень браковки 0,5 % является достаточно обоснованным, так как большинство дефектов, подтвержденных визуальными и металлографическими исследованиями, можно считать недопустимыми в соответствии с ГОСТ 13877-96. Нормы оценки допустимости несплошностей могут уточняться в процессе накопления статистической

подэлементарного бурта, обусловленной закономерностями формирования эхо-импульса от торца НШ. Наиболее нагруженные поверхностные слои на участке до 300 мм от подэлементарного бурта, частично находящиеся вне зоны контроля АДНШ, подвергаются функционально ориентированному упрочнению орбитальной обкаткой роликами (модуль УУНШ) (рис. 5а) и далее контролируются визуально.

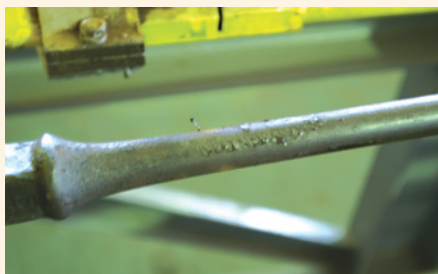
Орбитальная обкатка роликами галтели и части тела НШ обеспечивает повышение циклической долговечности, твердости и прочности за счет наклепа

поверхностного наиболее нагруженного слоя тела штанги и создания в нем сжимающих остаточных напряжений. Помимо этого обкатка роликами позволяет удалить окалину механическим способом и резко снизить высоту микронеровностей поверхностного слоя, что упрощает визуальный контроль НШ. На гладкой, упрочненной, блестящей поверхности после обкатки роликами

до разрушения составила $1,36 \times 10^6$ и $4,14 \times 10^6$ для обеих скважин, а упрочненных НШ – $4,65 \times 10^6$ и $10,16 \times 10^6$ соответственно для тех же скважин, что в 2,45 раза выше. При этом упрочненные НШ, эксплуатируемые в скважине № 708, были сняты с испытаний не по причине разрушения, а в связи с регламентным техническим обслуживанием скважины.



а



б

Рис. 5. Модуль УУНШ (а) и обнаруженная при обкатке роликами продольная микротрещина (б)

Табл. 1. Усталостная долговечность укороченных НШ

№ п/п	Варианты упрочнения тела штанги	Число циклов до разрушения, 10^5	Место разрушения
1	Нормализация	1,76	резьба
		1,84	галтель
		0,26	резьба
2	Поверхностное пластическое деформирование обкаткой роликами	7,19	галтель
		5,29	тело
		4,36	тело

отчетливо проявляются продольные и поперечные микротрещины раскрытием от 5 до 10 мкм и другие невидимые под слоем окалины дефекты. Продольные и поперечные микротрещины шириной до 5 мкм устраняются вследствие нейтрализации («залечивания») и не служат концентраторами для развития усталостных трещин. Микротрещины, усы, закаты значительных размеров под воздействием деформирующего инструмента раскатываются с образованием ярко выраженного дефектного участка (рис. 5б).

Результаты лабораторных усталостных испытаний циклическим растяжением укороченных НШ из стали 20Н2М, проведенные при постоянном среднем напряжении цикла 200 МПа на универсальной испытательной машине МУП-100 до разрушения, приведены в табл. 1. Видно, что долговечность упрочненных обкаткой роликами НШ многократно превышает долговечность серийных штанг, подвергнутых только нормализации.

Проведенные эксплуатационные испытания НШ, упрочненных обкаткой роликами на протяжении 8000 мм, на скважинах № 708 и № 1436 Мишкинского месторождения Воткинского НГДУ ПО «Удмуртнефть» показали, что средняя наработка серийных НШ

Результаты промышленного использования акустической дефектоскопии и упрочнения НШ

Комплексы сервисного обслуживания НШ в составе установок дефектоскопии АДНШ и упрочнения УУНШ успешно используются на участках ремонта НШ: ОАО «Белкамнефть» (с. Каракулино, Удмуртская Республика) с 2001 г.; ОАО «Татнефть» НГДУ «Бавлынефть» (г. Бавлы, Республика Татарстан) с 2004 г.; ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» ТПП «Когалымнефтегаз» (г. Когалым, Тюменская область, ХМАО) с 2004 г.; ООО «Игринский трубно-механический завод» (п. Игра, Удмуртская Республика) с 2005 г.; ОАО «Татнефть» НГДУ «Нурлатнефть» (г. Нурлат, Республика Татарстан) с 2004 г.

За время эксплуатации прошли сервисное обслуживание свыше 700 тыс. НШ (рис. 6а), из них около 200 тыс. – за пять лет промышленного использования новой комплексной технологии в ОАО «Белкамнефть». При 100 % акустическом контроле как новых, так и бывших в эксплуатации НШ отмечено значительное снижение процента брака (рис. 6б). В первый год работы оборудования каждая вторая штанга отбраковывалась, что свидетельствует об имевшемся на тот

период времени значительном износе фонда штанг. В дальнейшем, по мере сокращения объема штанг, ожидающих контроля на складе из общего потока, процент брака снизился и на текущий момент составляет менее 25 %.

Цех ремонта штанги НГДУ-1 ОАО «Белкамнефть» ориентирован не только на контроль штанг, бывших в эксплуатации, но и на приемочный конт-

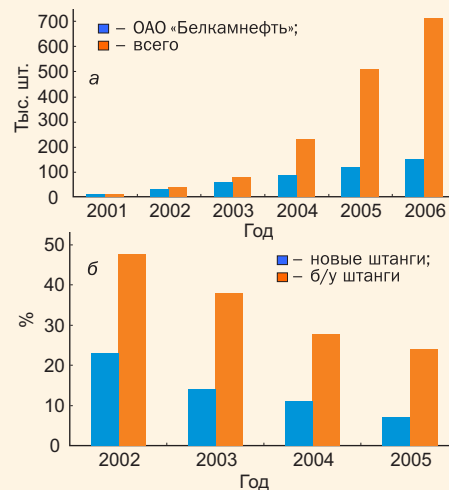


Рис. 6. Количество НШ, обработанных по комплексной технологии с 2001 по 2006 гг. (а), и процент брака НШ по годам использования этой технологии (б)

роль вновь закупленных штанг. В 1-й год работы оборудования около 20 % новых штанг браковалось при акустической дефектоскопии и 3 % – при визуальном контроле на операции упрочнения. В 2005 г. только 1 % НШ имел дефекты на галтели. Снижение числа забракованных штанг объясняется усилиями заводоизготовителей, направленными как на повышение качества штанги, так и на улучшение качества транспортировки, а наличие входного контроля стимулирует заводы-изготовители на 100 % входной контроль используемого проката и приемочный контроль готовой продукции.

После ввода в эксплуатацию комплекса дефектоскопии и упрочнения произошло снижение обрывности колонны штанг в 3,5 раза, и число обрывов установилось на уровне 60 – 70 в год. По результатам исследования, проведенного на скважинах НГДУ-1 ОАО «Белкамнефть», произошло перераспределение аварийности по элементам НШ из-за наличия в колонне штанг других слабых элементов (резьба и муфта). Наблюдается положительная тенденция резкого снижения числа отказов по наиболее опасному участку штанговой колонны – телу штанги (рис. 7). Причем отсутствуют обрывы насосных штанг, прошедших сервисное обслуживание, по упрочненной галтели и части тела на участке 300 мм от подэлеваторного бурта, что свидетельствует

о достижении главной цели сервисного обслуживания насосных штанг – повышении их циклической долговечности.

Сокращение числа дефектных элементов в теле штанги за счет акустического контроля и обкатки роликами при сервисном обслуживании позволило снизить аварийность колонн штанг. Каждая четвертая авария со штанговыми колоннами в 2004 г. приходится на 2-й год эксплуа-

тации колонны штанг. Так 27 % отказов в этот период времени приходится на муфту и 67 % – на тело штанги. В 3-й год работы штанговой колонны отказы минимизируются (каждый двадцатый отказ с элементами штанговой колонны). В последующие годы эксплуатации отказы со штанговыми колоннами стабилизируются. Вероятность случайных отказов подчиняется экспоненциальному закону распределения и не зависит от сроков работы элементов колонны штанг, а интенсивность таких отказов для равных промежутков времени в течение периода нормальной эксплуатации колеблется в узких пределах.

Выводы

1. Разработанная технология акустического волноводного контроля протяженных объектов обладает следующими преимуществами:

- не требует применения контактных и иммерсионных жидкостей, какой-либо подготовки поверхности объекта контроля, сканирования преобразователей по объекту ввиду возбуждения зондирующих импульсов и регистрации эхо-импульсов с торцов НШ длиной более 8 м;
- обеспечивает высокую производительность (до 1000 НШ или до 10000 м проката за смену);
- обеспечивает одинаковую чувствительность к дефектам вне зависимости от глубины их залегания и расстояния до преобразователя;

– выявляет наиболее опасные дефекты, влияющие на циклическую долговечность НШ.

2. Функционально ориентированное упрочнение наиболее нагруженного галтельного участка НШ способствует повышению ее циклической долговечности, твердости и прочности и существенно упрощает визуальный контроль этого участка.

3. Промышленное использование комплексной технологии акустического контроля и упрочнения позволило:

- исключить допуск в эксплуатацию НШ с потенциально опасными дефектами и пониженным ресурсом работы;
 - увеличить межремонтный период работы скважин вследствие сокращения числа подземных ремонтов по причине обрывов НШ;
 - получить прирост добычи нефти за счет сокращения числа подземных ремонтов и простоев оборудования;
 - увеличить средний срок службы НШ.
- Средний срок окупаемости оборудования составил около 6 месяцев.

Литература

1. ГОСТ 13877-96. Штанги насосные и муфты к ним. Технические условия.
2. Буденков Г. А., Недзвецкая О. В., Лебедева Т. Н. Новая прогрессивная технология дефектоскопии протяженных объектов металлургической и нефтедобывающей промышленности. – Тяжелое машиностроение. 2004. № 11. С. 18–23.
3. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И. П. Голяминой – М.: Сов. энциклопедия, 1979. – 400 с.

Статья получена 08 сентября 2007 г.

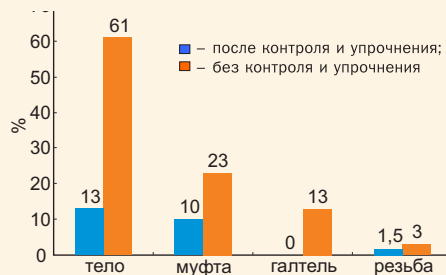


Рис. 7. Распределение обрывов по элементам НШ в НГДУ-1 ОАО «Белкамнефть» за 2005 г.

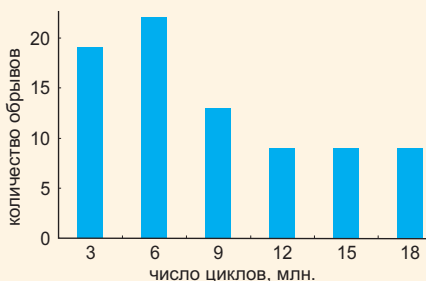


Рис. 8. Диаграмма надежности насосных штанг НШ-22 в НГДУ-1 ОАО «Белкамнефть» на 2005 г. тации, что свидетельствует о высокой вероятности развития дефектов и ошибок



Амати-Акустика

Разработка и производство
ультразвуковых преобразователей

www.amatia.ru

Инструмент для профессионалов

т. (812) 337 1207

ф. (812) 740 1402

