

УДК 537.8:62/502

А.В. Грабовский¹, e-mail: grabovsky@altek.info

¹ 000 «Алтек-Наука» (Санкт-Петербург, Россия).

Вихретоковый контроль бурильных труб

В статье поднимается вопрос неразрушающего контроля бурильных труб методом вихревых токов. Данный метод является альтернативой магнитопорошковой и капиллярной дефектоскопии, при этом позволяет проводить контроль без тщательной подготовки поверхностей. В отличие от магнитопорошковой дефектоскопии объектом вихретокового контроля могут быть детали, изготовленные из немагнитных сталей и цветных металлов. Для проведения вихретокового контроля не требуются расходные материалы и контактные вещества, что позволяет добиться значительной экономии средств.

Новое оборудование российского производства позволяет сократить время на проведение диагностирования и обеспечивает высокую чувствительность. Применение многоканальных сканирующих устройств тел бурильных труб делает возможным выявление продольных и поперечных дефектов поверхности на ранних стадиях развития. Устройства проектировались и создавались с учетом необходимости одностороннего доступа к трубе в тех случаях, когда трубы лежат на земле или на стеллажах. Время, затраченное на вихретоковый контроль резьбовых соединений и тела одной бурильной трубы, не превышает пяти минут.

Метод и средства контроля очень просты и понятны для конечного пользователя, краткие теоретические основы метода представлены в статье. Возможность создавать протокол при проведении вихретокового контроля и накапливать базу данных в компьютере делает более удобными анализ, хранение и обработку данных.

Вихретоковый метод контроля начинает упоминаться в зарубежной и отечественной нормативной документации по диагностированию бурильных труб. Это позволяет использовать данный метод наравне с ультразвуковой или магнитопорошковой дефектоскопией.

Ключевые слова: вихретоковый контроль, неразрушающий контроль, контроль резьбы, тело трубы, трещина в резьбе, дефектоскопия.

.....

A.V. Grabovskiy¹, e-mail: grabovsky@altek.info

¹ Altek-Nauka LTD (Saint Petersburg, Russia).

Eddy current testing of drill pipe

The problem of nondestructive testing of drill pipes by the method of eddy currents is described in this article. This method is an alternative to magnetic particle and liquid penetrant inspection, but allows to control without careful preparation of the surfaces. In contrast to magnetic particle testing, eddy current testing object may be non-magnetic steels and non-ferrous metals. Eddy current testing does not require consumables and contact substances, which allows us to achieve significant cost savings.

New Russian equipments allows to reduce the inspection time and provides high sensitivity. Multi-channel scanning devices of drill pipe bodies allow to identify the defects at early stages of development. These devices were developed taking into account the need of unilateral access to the pipe in cases where the pipe lying on the ground, or on racks. The time taken for the eddy current inspection of thread connections and the body of one drill pipe, does not exceed five minutes.

The method and means of inspection are very simple and straightforward for the end user, a brief theoretical basis of the method is presented in this article. The possibility of eddy current flaw detector to create the report log and store the database in the computer makes it more convenient for analysis, storage and data processing.

Eddy current testing begins to appear in foreign and Russian regulatory documents on the inspection of drill pipes. This allows to use this method as well as ultrasonic or magnetic particle testing.

Keyword: eddy current testing, nondestructive testing, thread inspection, drill pipe body, crack in the thread, inspection.

Эксплуатация технически сложных и опасных объектов всегда сопряжена с необходимостью проведения технического контроля, обслуживания и ремонта. Сокращение временных затрат на проведение регламентных работ, создание аппаратуры и объективных методик контроля состояния объектов является актуальной задачей с точки зрения как безопасной эксплуатации объектов, так и требований сокращения времени простоя. Не стоит забывать и об угрозах для экологии [1, 2].

Увеличение числа аварий является следствием критического износа оборудования, нарушений технологических и производственных процессов, наличия человеческого фактора в процессе эксплуатации, обслуживания и ремонта. Неразрушающий контроль и диагностика (НКИД) позволяют решить эти проблемы, а автоматизация процессов контроля – исключить человеческий фактор.

Ужесточение норм качества промышленной продукции и надежности объектов требуют постоянного совершенствования методов и средств неразрушающего контроля. В мире существуют четыре основных направления развития НКИД [3]:

- интеллектуализация методов и средств НКИД;
- разработка единой системы контроля качества технических объектов и окружающей среды;
- совершенствование диагностических технологий;
- организационное обеспечение НКИД на международном уровне.

Темпы роста мировой промышленности не должны идти вразрез с качеством продукции. Например, суммарные мировые объемы производства черной металлургии (чугунов, ферросплавов и сталей) в 2014 г. превысили 3 млрд т, что в 2 раза больше по сравнению с 2006 г. Трубы, рельсы, металлоконструкции, корпуса судов, валы и прочие детали машиностроения обязательно должны подвергаться диагностированию. Однако в неразрушающем контроле продукции черной металлургии есть

ряд принципиальных сложностей, например:

- 1) ржавчина, затрудняющая визуальный контроль и требующая дополнительной подготовки поверхности объекта. При ультразвуковом контроле ржавчина может являться причиной плохого акустического контакта. Наличие ржавчины на поверхности затрудняет также проведение капиллярного контроля;
- 2) нанесенные на поверхность лакокрасочные покрытия (ЛКП). При борьбе с коррозией изделия часто покрывают ЛКП, что создает большие трудности для проведения НКИД. Чаще всего при проведении диагностирования объекта ЛКП полностью снимается, а затем наносится заново. Такая процедура требует дополнительных затрат – как временных, так и финансовых;
- 3) высокая шероховатость и плохое состояние контролируемой поверхности в целом. Эта особенность свойственна большей части трубной продукции, а также несущим металлоконструкциям, бывшим в эксплуатации.

Для решения перечисленных проблем все чаще используется вихретоковый метод контроля (ВК). Применение данного метода хорошо зарекомендовало себя в таких отраслях промышленности, как железнодорожный транспорт, авиационная промышленность, атомная энергетика и др. Лакокрасочные и другие виды покрытия, ржавчина, следы машинного масла и грязи, маркировка деталей не являются помехой в проведении ВК, поскольку электромагнитное поле не искажается при прохождении диэлектрических покрытий. Эта же особенность метода позволяет проводить контроль без непосредственного контакта объекта и преобразователя. Возможность проведения контроля на высоких скоростях открывает большие возможности по автоматизации.

В современных зарубежных и отечественных стандартах и методиках по диагностированию бурового оборудования также появляются упоминания о возможности проведения вихретокового контроля (ГОСТ Р 54383-2011 [4] или API Spec 5DP [5]). В готовящемся

проекте стандарта по диагностическому обслуживанию объектов добычи газа СТО Газпром упоминается о возможности и необходимости проведения вихретокового контроля просматривается уже более очевидно. В проекте этого стандарта имеются определенные условия и требования, касающиеся именно вихретокового контроля. Разработан и готовится к введению ГОСТ Р ИСО 10893-2, определяющий условия проведения вихретокового контроля стальных бесшовных и сварных труб, а также критерии браковки. В стандарте DS-1 (т. 3) [6] есть описание процедуры проведения электромагнитного контроля (EMI) тела трубы. В свою очередь, вихретоковый контроль является одной из разновидностей электромагнитного контроля. Но, несмотря на то что вихретоковый метод упоминается в указанных выше стандартах, никакой конкретики и грамотной инструкции по проведению именно вихретокового контроля элементов буровых труб в данных документах нет.

ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ

В простейшем случае вихретоковым преобразователем может являться виток провода с протекающим по нему переменным током. В случае когда виток находится над металлическим объектом, магнитный поток (первичное ЭМ-поле, поле возбуждения), пронизывающий этот виток, будет создавать в объекте вихревые токи, противоположные по направлению току, протекающему в витке в текущий момент времени. Вихревые токи, в свою очередь, тоже будут создавать свое электромагнитное поле (вторичное ЭМ-поле, поле вихревых токов), которое будет ослаблять поле возбуждения, так как направлено оно в противоположную сторону (рис. 1). Именно по результатам взаимодействия ЭМ-полей судят о состоянии объекта контроля. Например, трещина в объекте контроля под витком с током приводит к разрыву контура вихревых токов и, соответственно, вызывает ослабление поля вихревых токов. В результате воздействие на поле возбуждения изменя-

Ссылка для цитирования (for citation):

Грабовский А.В. Вихретоковый контроль буровых труб // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 10. С. 42–47.

Grabovskiy A.V. Eddy current testing of drill pipe (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 10, P. 42–47.

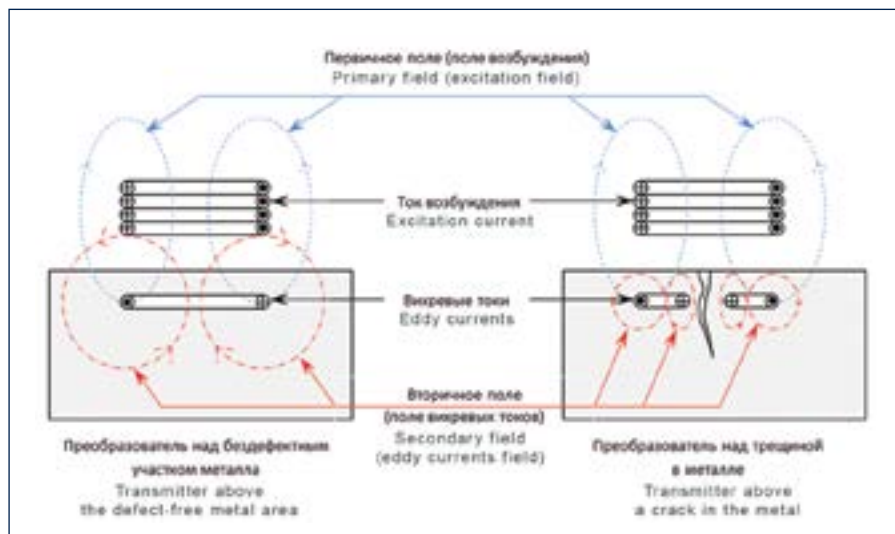


Рис. 1. Схема взаимодействия полей при вихретоковом контроле
Fig. 1. Fields interaction diagram in eddy current testing

ется, что отражается на сигнале. Один виток с током создает очень слабое поле возбуждения, поэтому в вихретоковых преобразователях (ВТП) используют индуктивные катушки, число витков в которых может варьировать от нескольких единиц до нескольких тысяч в зависимости от назначения преобразователя. Помимо этого катушки для ВТП часто мотают на магнитопроводах (обычно на ферритовых стержнях), что позволяет локализовать ЭМ-поле в зоне магнитопровода, увеличив тем самым абсолютную чувствительность и обеспечив точечное воздействие преобразователя на объект контроля. В зависимости от задач неразрушающего контроля и особенностей аппаратуры выбирают преобразователи определенного типа [3].

Наибольшее распространение и популярность получили преобразователи накладного типа, поскольку они позволяют проводить контроль локально при одностороннем доступе к объекту. Преобразователи накладного типа дают высокую чувствительность к микродефектам. Чувствительность преобразователя к микродефектам тем выше, чем меньше радиус обмотки катушки. Такие преобразователи обычно собирают в корпус, напоминающий по форме шариковую ручку или фломастер, поэтому их еще называют преобразователями карандашного типа. Их достоинствами являются:

- простота изготовления и низкая стоимость;
- локальность контроля, сопоставимая с диаметром катушки ВТП;
- высокая чувствительность к дефектам;
- высокая универсальность.

При диагностировании бурильных труб особое внимание уделяется контролю резьбовых замковых соединений на наличие трещин, которые очень часто возникают при эксплуатации и приводят к авариям. Особое внимание при контроле следует уделять первым 5–6 виткам со стороны большего основания конуса – именно этот участок резьбы нагружен больше всего. Особенность развития трещин в резьбе замковых соединений заключается в том, что они образуются



Рис. 2. Сканы «СВК Алтек» для контроля резьбы ниппеля и муфты бурильной трубы типоразмеров 3-133 и 3-147
Fig. 2. SVK Altek scanners to control the thread of drill pipe pin and the coupling of 3-133 and 3-147 sizes

во впадинах резьбы [7, 8], поэтому правильнее всего контролировать именно впадину. Это позволит выявить трещину на ранних стадиях развития. Применение датчика на ферритовом магнитопроводе диаметром 1 мм обеспечит локальность контроля именно впадины резьбы и минимизирует изменение сигнала на участках сбega.

Что касается чувствительности, то она сравнима с чувствительностью магнитопорошковой (МПД) и капиллярной (ПВК) дефектоскопии. Можно выявлять трещины глубиной от 0,2–0,4 мм и протяженностью 2–4 мм. Искусственные дефекты резьбовых соединений, которые прописаны в стандарте РД-41-01-89 [9] в части ультразвукового контроля, будут выявляться со значительным запасом усиления. В отличие от МПД и ПВК при проведении ВК не требуется такая тщательная подготовка поверхности объекта контроля. Допускается наличие на поверхности резьбы слоя масла и других диэлектрических веществ, не препятствующих прохождению преобразователя.

Особый интерес представляет возможность контроля резьбы муфты. В случае с ПВК или МПД внутренняя резьба муфты является очень сложным объектом контроля как с точки зрения подготовки поверхности, так и с точки зрения проведения контроля и оценки его результатов. Для проведения вихретокового контроля резьбы муфты существуют специальные устройства, позволяющие однозначно позиционировать преобразователь в витке и проводить контроль путем вкручивания устройства по резьбе. Аналогичные сканирующие устройства существуют и для ниппельной части замкового соединения (рис. 2). Данные устройства подключаются к дефектоскопу, на экране которого отображается информация о ходе контроля, и по его результатам можно сразу сформировать протокол.

Тем не менее одно из достоинств обычных ВТП, содержащих один датчик, формирует основной их недостаток. В случае необходимости контроля больших поверхностей (например, тела бурильной трубы) применение данных преобразователей нецелесообразно. Ввиду локальности контроля требуется

последовательное сканирование детали с шагом, не превышающим диаметр катушки преобразователя. Кроме того, часто в нормативных документах предписывают проводить контроль, перемещая преобразователь в двух взаимно перпендикулярных траекториях, чтобы обеспечить выявление трещин любой ориентации. При этом скорость ручного контроля, как правило, не превышает 50–100 мм/с. Все эти условия приводят к огромным временным затратам на ВК больших деталей, поэтому на практике при ручном контроле таких деталей шаг сканирования и скорость часто не соблюдаются. Таким образом, два основных недостатка ручного вихретокового контроля датчиками карандашного типа – низкая производительность и человеческий фактор.

В последнее десятилетие на рынке стали появляться многоканальные вихретоковые сканеры иностранного производства [10, 11], которые весьма компактны, но при этом позволяют контролировать сразу большую плоскость. Большинство этих сканеров основано на принципе объединения нескольких катушек ВТП в один корпус, поэтому их еще называют матричными.

Применение матричных сканеров позволяет значительно увеличить производительность контроля, но ограничивается жесткостью исполнения рабочей поверхности (поверхности контроля). Датчики, как правило, жестко закреплены друг относительно друга, поэтому сканеры изготавливаются под объект определенной формы и не являются универсальными. Тем не менее в рамках одного предприятия, как правило, осуществляется контроль деталей фиксированной формы. Например, при контроле труб необходимо использовать сканеры контроля труб определенных диаметров.

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СКАНЕРЫ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

С 2006 по 2010 г. специалистами компаний «Алтек» (Санкт-Петербург) и «Интрон» (Москва) проводились работы по созданию многоканальных сканеров вихретокового контроля. Плодом сотрудничества двух компаний стало

Таблица 1. Технические характеристики многоканальных сканеров вихретокового контроля
Table 1. Technical characteristics of multi-channel eddy current scanners

Характеристики Characteristics		Примечания Notes
Протяженность линии сплошного контроля, мм Length of continuous control line, mm	20–320	В зависимости от типа и назначения сканера Depending on the type and purpose of the scanner
Скорость контроля, мм/с Test speed, mm/sec	30–500	
Рабочий зазор (между объектом контроля и поверхностью сканирования), мм Operating gap (between the tested object and scan surface), mm	до 10 up to 10	
Характеристики порогового дефекта: Features of limit defect: длина, мм length, mm глубина, мм depth, mm раскрытие, мм disclosure, mm	2–10 0,3–1 0,05	
Количество каналов, шт. Number of channels, pcs.	8–32	
Типы применяемых датчиков Types of sensors used	Трансформаторные дифференциальные и абсолютные Transformer differential and absolute	(Рис. 3) (Fig. 3)
Интерфейсы связи Communication interfaces	RS-485, USB	В зависимости от назначения Depending on the application

создание сканеров, превосходящих импортные по ряду характеристик. Принятые технические решения позволили создать гибкую платформу, на базе которой можно разрабатывать сканеры для контроля деталей с очень сложным профилем. В табл. 1 приведены некоторые характеристики данных сканеров. Разработанные сканеры состоят из двух основных блоков: блока цифровой обработки сигналов (ЦОС) и блока вихретоковых преобразователей. Структурная схема сканера представлена на рис. 3.

Блок ЦОС отвечает за связь сканера с дефектоскопом, генерацию сигналов, съем и фильтрацию данных с измерительных обмоток ВТП, анализ зазора, передачу данных в дефектоскоп. Использование интерфейса RS-485 позволяет подключать последовательно до 256 сканеров в одну цепь, что расширяет возможность создания сложных диагностических комплексов вихретокового контроля. Блок ЦОС обеспечивает 32

канала вихретокового контроля для одного сканера. Реализован интерфейс USB, позволяющий подключать сканер непосредственно к компьютеру или дефектоскопу Peleng УДЗ-307ВД. Передача данных в цифровом виде позволяет добиться минимальной длины аналогового тракта и минимизировать само оборудование. Так, например, в импортных многоканальных сканерах вихретокового контроля вся электронная часть размещена в центральном блоке

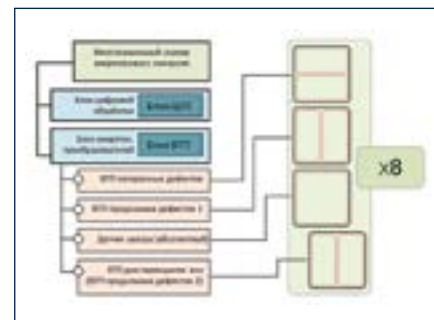


Рис. 3. Структурная схема сканера
Fig. 3. Block diagram of the scanner

дефектоскопа, а из сканера выходит очень толстый кабель (объединяющий провода от всех ВТП), что крайне неудобно при контроле. Кроме того, аналоговый тракт гораздо сильнее подвержен влиянию помех, чем цифровой. В описываемой отечественной разработке из сканера выходит цифровой сигнал, что позволяет добиться высокой помехозащищенности и передавать данные по кабелю всего из четырех или шести жил (в зависимости от используемого интерфейса).

Блок ВТП условно можно разбить на равные по длине зоны, в каждой из которых располагается группа преобразователей, выполняющих свои функции. В рамках одной зоны располагаются два дефектоскопических дифференциальных ВТП и один абсолютный ВТП, выполняющий роль датчика зазора. Еще один дифференциальный датчик обеспечивает перекрытие между зонами, а также перекрывает зону нулевой видимости датчика продольных дефектов (рис. 3).

Известно, что датчики дифференциального типа чувствительны к дефектам определенной ориентации. Поэтому при разработке закладывалось требование обнаружения продольных и поперечных дефектов. В соответствии с этим условием внутри одной зоны располагаются датчики как продольных, так и поперечных дефектов (рис. 4). Дифференциальная связь двух ВТП взаимно перпендикулярна, что гарантирует обнаружение дефектов любой ориентации с высокой чувствительностью, свойственной датчикам дифференциального типа. Абсолютные преобразователи предназначены для отслеживания зазора (т. е. являются датчиками

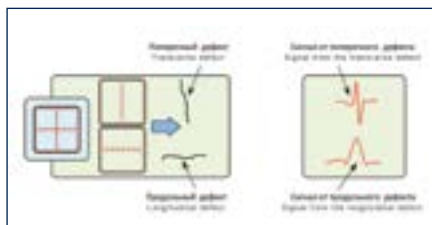


Рис. 4. Принцип обнаружения дефектов любой ориентации тандемом дифференциальных ВТП
Fig. 4. Principle of defects detection in any orientation with differential eddy current probes tandem

Таблица 2. Длина линии сплошного контроля сканера и минимальный размер обнаруживаемого дефекта

Table 2. Length of the scanner continuous test line and the minimum size of a detectable defect

Длина линии сплошного контроля сканера, мм Length of scanner continuous control line, mm	320	160	80	64
Минимальная длина обнаруживаемого дефекта, мм Minimum length of the detected defect, mm	10	5	2,5	2

зазора). Датчики зазора распределены равномерно по всей длине сканера, что позволяет контролировать перекосы сканера и изменения геометрии объекта непосредственно во время проведения контроля. Сигнал с датчика зазора поступает на вход микроконтроллера, где происходит оценка текущего зазора путем сравнения с опорным сигналом. В случае если зазор изменился относительно начального или калибровочного значений, происходит автоматическая корректировка усиления.

Поскольку в одной зоне располагаются 4 ВТП, а блок ЦОС рассчитан на 32 датчика, то в одном сканере реализуется до 8 зон контроля. Размер зоны контроля определяется характеристиками выявляемых дефектов. Чем меньше размеры дефектов, тем меньше должен быть сам преобразователь. Так, например, при выявлении трещин протяженностью более 5 мм размер зоны контроля составит 20 мм (квадратная зона со сторонами 20 мм). Для такой зоны эквивалентный диаметр измерительной обмотки будет равен 10 мм. За счет использования дифференциальных ВТП удается обнаруживать дефекты, протяженность которых в 2 раза меньше размера измерительной обмотки. Таким образом, имея 8 зон по 20 мм, можно получить 160 мм сплошного контроля на дефекты любой ориентации протяженностью от 5 мм. Соответственно, при контроле объекта на наличие трещин протяженностью от 10 мм протяженность линии сплошного контроля одного сканера возрастает до 320 мм (табл. 2).

Разработка нашла применение и в диагностировании бурильного оборудования. Были разработаны и опробованы в полевых условиях многоканальные сканеры вихретокового контроля поверхности тел бурильных труб (рис. 5). Тело бурильной трубы (вместе с зонами клинового захвата) контролируется

данными устройствами от высаженного конца до высаженного конца на наличие продольных и поперечных трещин. Сканеры выполнены с учетом возможности одностороннего доступа к трубе и позволяют за один проход проверить от 25 до 50 % поверхности трубы (в зависимости от диаметра трубы и типа сканера). При этом рабочая скорость контроля составляет 50 см/с. Труба целиком с перекрытием зон контроля проверяется за 2–3 минуты, при этом чувствительность контроля сопоставима с чувствительностью магнитопорошкового метода. Тщательной подготовки поверхности тела трубы не требуется, нужно только устранить массивные куски грязи, которые могут препятствовать прохождению сканера физически. Эксплуатационные испытания многоканальных сканеров на нескольких заводах продемонстрировали возможность уверенного выявления таких дефектов проката, как плена, закаты, неметаллические включения, термические трещины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вихретоковый метод неразрушающего контроля обладает высоким потенциалом для развития и внедрения в процедуру диагностирования бурильных труб. Применение многоканальных устройств вихретокового контроля по-



Рис. 5. Сканер «МСВК Алтек» ТТ-127 для контроля тела бурильной трубы диаметром 127 мм
Fig. 5. MSVK Altek TT-127 scanner to control the drill pipe body of 127 mm diam

зволяет добиться высокой производительности в поиске трещин тела трубы, а устройства для сканирования резьбы позволяют значительно упростить поиск усталостных трещин и сэкономить время на контроль.

Разработана и утверждена ООО «ВНИИТ-нефтетрубы» методика проведения вих-

ретокового контроля бурильных труб с учетом требований отечественных и зарубежных стандартов, относящихся к диагностированию бурильных труб. Учитывались и требования стандартов, находящихся на данный момент в разработке. В данную методику включены как сканеры контроля резьбы, так и

многоканальные сканеры для контроля тела трубы.

На сегодняшний день получены хорошие результаты применения многоканальных сканеров вихретокового контроля в таких отраслях, как железнодорожный транспорт и металлопрокатное производство.

Литература:

1. Гокова О.В. Экономические и политические последствия аварии в Мексиканском заливе в 2010 году // Вестник Югорского гос. ун-та. 2011. № 4 (23). С. 40–44.
2. Мексиканский залив. Уроки аварии // Безопасность труда в промышленности. 2012. № 5. С. 18–21.
3. Федосенко Ю.К., Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Останин Ю.Я. Неразрушающий контроль / Под ред. В.В. Ключева. Т. 2: В 2 кн. Кн. 2. Вихретоковый контроль. М.: Машиностроение, 2006.
4. ГОСТ Р 54383-2011. Трубы стальные бурильные для нефтяной и газовой промышленности. Технические условия.
5. API Spec 5DP Specification for drill pipe.
6. DS-1. Vol. 3, Drill Stem Inspection, TH Hill Associates.
7. Языков В.А. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния резьбового соединения // Вестник ТОГУ. 2007. № 1 (4). С. 111–118.
8. Субботин С.С., Соколова Н.Г., Брюханов О.Ф., Михайленко В.И. Дефектоскопия нефтяного оборудования. М.: Недра, 1975. 264 с.
9. РД-41-01-89. Неразрушающий контроль бурового инструмента и оборудования при эксплуатации. Организация и порядок проведения.
10. Эдди Ч., Биттнер Дж., Лепаж Б., Ламар А. Вихретоковый контроль с использованием матрицы датчиков // В мире неразрушающего контроля. 2007. № 2 (36). С. 12–14.
11. Борисков Ю.В., Козлов В.Р. Преимущества применения технологии вихретоковых матриц по сравнению с классическим вихретоковым контролем // Территория NDT. 2014. Июнь. С. 56–59.

References:

1. Gokova O.V. Economic and political consequences of the accident in the Gulf of Mexico in 2010. Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta = Journal of Ugra State University, 2011, No. 4 (23), P. 40–44. (In Russian)
2. Gulf of Mexico. Lessons from the accident. Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Industrial occupational safety, 2012, No. 5, P. 18–21. (In Russian)
3. Fedosenko Yu.K., Gerasimov V.G., Pokrovskiy A.D., Ostanin Yu.Ya. Non-destructive testing / Ed. by V.V. Kluev, Vol. 2, book 2 – Eddy current testing. Moscow, Mashinostroeniye, 2006. (In Russian)
4. GOST R 54383-2011. Steel pipes for drilling in the oil and gas industry. Specifications. (In Russian)
5. API Spec 5DP Specification for drill pipe.
6. DS-1. Vol. 3, Drill Stem Inspection, TH Hill Associates.
7. Yazykov V.A. Finite element analysis of stress-strain state of the threaded joint. Vestnik TOGU = Herald of PNU, 2007, No. 1 (4), P. 111–118. (In Russian)
8. Subbotin S.S., Sokolova N.G., Brukhanov O.F., Mikhailenko V.I. Flaw detection of oil equipment. Moscow, Nedra, 1975, 264 pp. (In Russian)
9. RD-41-01-89. Non-destructive testing of drilling tools and equipment in service. Organization and procedure. (In Russian)
10. Eddie C., Bittner J., Lepage B., Lamar A. Eddy current testing using a sensor array. V mire nerazrushayushchego kontrolya = In the world of non-destructive testing, 2007, No. 2 (36), P. 12–14. (In Russian)
11. Borisov Yu.V., Kozlov V.R. Advantages of using eddy current array test technologies in comparison with the classical eddy current testing. Territoriya NDT = Territory of NDT, 2014, June, P. 56–59. (In Russian)

Хордовые ПЭП



НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ГРУППА

АЛТЕК®

www.altek.info

Сканер TOFD



Устройство для контроля
резьбы ниппеля

Сканер для контроля
тела трубы



Калибровочный
образец

Дефектоскоп
УДЗ-307ВД

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Санкт-Петербург
(812) 336-88-88
altek@altek.info

