



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПОСОБА СУХОЙ СВАРКИ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДОВ В РОССИИ

В. Я. КОНОНЕНКО, канд. техн. наук (ГП «Екотехнология» НТК «Ин-т электросварки им. Е. О. Патона»)

Рассмотрено применение сухой подводной сварки при ремонте подводных переходов магистральных газо- и нефтепроводов через реки. Подробно описан новый специализированный мобильный водолазный комплекс, предназначенный для ремонта магистральных газопроводов диаметром 1020 и 1220 мм на глубине от 2 до 30 м с применением сухой подводной сварки, прошедший натурные испытания.

Ключевые слова: сухая подводная сварка, магистральные газопроводы, ремонт подводных переходов, мобильный водолазный комплекс

В настоящее время способ гипербарической подводной сварки, который начал развиваться с 1960-х годов, является наиболее востребованным при решении задач, связанных со строительством и ремонтом подводных газо- и нефтепроводов и других гидротехнических сооружений на различных глубинах. Предпосылками для развития этого способа явилось использование материалов с более высокими механическими свойствами, увеличение глубины выполнения работ и повышение требований к исполнителям, которые должны обеспечить соединения с прогнозируемым уровнем качества. При этом способе сварки отсутствует контакт с водой реакционной зоны и свариваемого металла, а также обеспечены более комфортные условия работы водолазов-сварщиков по сравнению с мокрыми способами сварки, что позволяет получить равнопрочные сварные соединения независимо от внешних условий и глубины выполнения работ. Это особенно актуально для РФ, где к концу 2008 г. количество подводных переходов магистральных трубопроводов (МТ) через водные преграды общей протяженностью 5800 км составило 1855 ед. (или 2687 ниток). По различным причинам воздействие окружающей среды и труднодоступные подводные переходы МТ являются сложными объектами для проведения подводно-технических работ с использованием подводной сварки.

Цель настоящей работы — ознакомить с технологией сухой сварки подводных переходов нефте- и газопроводов и оборудованием, используемым для ее реализации в РФ в течение последних 30 лет.

Основной объем работ в сухих камерах выполняют при ремонте подводных трубопроводов. Камеры проектируют и изготавливают индиви-

дуально под заказ [1–3]. Такая камера массой от 8 до 20 т, как правило, входит в состав корабельного водолазного комплекса. Разработан также ряд мобильных упрощенных модификаций камер, предназначенных для быстрой доставки к месту аварии в контейнерах. Кроме самой камеры, в состав комплекса входят гидравлические подъемники и центраторы, необходимые для перемещения труб в вертикальной и горизонтальной плоскостях при их фиксации и герметизации в торцах камеры. Камеры укомплектованы набором уплотняющих элементов, обеспечивающих герметизацию труб различных диаметров. В дополнительный комплект входит оборудование для зачистки, резки и подгонки труб, герметизированный источник питания, позволяющий выполнять сварку с использованием технологий ручной дуговой сварки (РДС), сварки ТИГ и МИГ/МАГ и термообработку сварных соединений, герметичные емкости для хранения инструмента и приспособлений, оборудование для термообработки и контроля сварных соединений.

В состав оборудования камеры входят также системы дымоудаления, пожаротушения, контроля состава газовой среды и гидравлическая система для фиксации и перемещения на небольшие расстояния ремонтируемой трубы в случае ее центровки при монтаже. В верхней части камеры расположен люк, с которым стыкуется водолазный колокол. Водолазы-сварщики из колокола могут переходить непосредственно в камеру. В период монтажа на трубе, когда камера затоплена, сварщики выполняют работы в водолажном снаряжении. После окончания монтажных работ они работают без водолазного снаряжения, но при необходимости надевают дыхательную маску, подключенную к системе газоснабжения водолазного колокола.

Сварочные работы под водой выполняют специалисты, прошедшие многомесячное обучение под руководством специально подготовленных

инженеров и техников, которые постоянно следят за физическим состоянием водолазов-сварщиков, составом и влажностью газовой смеси, а также контролируют все электрические параметры дугового процесса.

В практике ремонта подводных переходов на территории бывшего СССР сухую сварку почти не применяли, за исключением ремонта нефтепровода Александровское–Анжеро-Судженск в месте его перехода через реку Обь [4, 5]. В этом случае оба дефекта трубы диаметром 1020 мм с толщиной стенки 16 мм из стали 18Г2АФ находились в верхней части монтажных стыков. В феврале-марте 1979 г. на глубине 6 м в кессоне был заварен первый дефект — трещина, видимая часть которой составляла 250 мм. В качестве кессона использовали найденную в ближайшем регионе емкость для воды размером 1,8×1,5×2,2 м, что позволило выполнять сварочные работы на трубе в «секторе» от 9 до 3 ч. Воду отжимали сжатым воздухом, а сварочный аэрозоль из зоны горения дуги удаляли путем местной вытяжки. Вход и выход водолазов-сварщиков, а также подачу всего необходимого осуществляли через нижнюю часть кессона. Дефектный участок размером 400×650 мм был удален с применением газокислородной резки, а в образовавшееся отверстие ввели заплату с подкладкой. Корневой шов выполняли с применением мокрой механизированной сварки, а разделку заполняли с использованием покрытых электродов в сухой среде. Водолазное оборудование позволяло водолазам-сварщикам в течение одного рабочего дня выполнить всего два спуска под воду продолжительностью 45...50 мин каждый. Общее время, затраченное на изготовление камеры, ее монтаж и осуществление сварочных работ, составило 65 сут.

Второй дефект ремонтировали в феврале-марте 1980 г. Разрыв грунта проведен в летне-осеннее время, а зачистку трубы от гидроизоляции и ус-

тановку того же кессона, который использовали при ремонте первого дефекта, осуществляли в течение 10 рабочих дней. Как и в первом случае, трещина располагалась в «секторе» от 13.00 до 14.30 ч, ее видимая часть составляла 200 мм. Технология выполнения сварочных работ была такой, как и при ремонте предыдущего стыка. При сварочных работах водолазы-сварщики использовали аппарат ШАП-62, что позволило работать под водой без выхода на поверхность в течение 3...4 ч. При ремонте этого дефекта сварочные работы были произведены за 10 ч (с учетом предварительного подогрева трубы и зачистки швов).

В настоящее время в РФ выполнен ряд ремонтных работ на МТ с использованием сухой сварки [6]. Для этого использовали специализированный подводный кессон Захарова (СПКЗ) модификации I, который представляет собой открытый водолазный колокол, установленный боковой поверхностью на МТ. СПКЗ различных типов размеров обеспечивает ремонт МТ диаметром от 325 до 1420 мм.

СПКЗ, схема которого показана на рис. 1, состоит из металлического корпуса 18, соединенного с четырьмя направляющими 9 и крепежным кронштейном 16, с шарнирными устройствами 3. Боковые поверхности корпуса 18 имеют сегментный вырез 6, радиус которого соответствует радиусу ремонтируемого МТ 4. Герметичность установки СПКЗ на наружную поверхность МТ обеспечивается размещенным в кольцевом зазоре между сегментным вырезом корпуса 6 и поверхностью МТ уплотнителем 7, выполненным из микропористой резины. На поверхности корпуса 18 расположены два вентиляционных отверстия 10 и 14 (соответственно основное и дополнительное), на которых установлены краны для регулировки выпуска защитного газа и сварочного дыма. К основному вентиляционному отверстию 10 через шланг подсоединен вентиляционный раструб, обеспечивающий отвод сварочного дыма из кессона. Корпус 18 с помощью шарнирных устройств 3 закрепляется на двух штангах-грузах 2 на требуемой высоте. Устойчивость конструкции обеспечивается балластными ящиками 19 с размещенными в них балластными грузами 1. На дефектном участке ремонтируемого трубопровода СПКЗ закрепляется с помощью прижимных полуколец 11 и талрепов 12, 13, а его положение на поверхности МТ фиксируется с помощью четырех болтов-упоров 5, размещенных на направляющих 9, которые обеспечивают фиксацию требуемого положения СПКЗ относительно оси МТ. На крепежных кронштейнах 16 приварены монтажные петли 15 для монтажа корпуса 18 СПКЗ на грузоподъемной раме при его подъеме или спуске под воду.

СПКЗ позволил выполнить ряд ремонтных работ с помощью ручной дуговой сварки (РДС) в

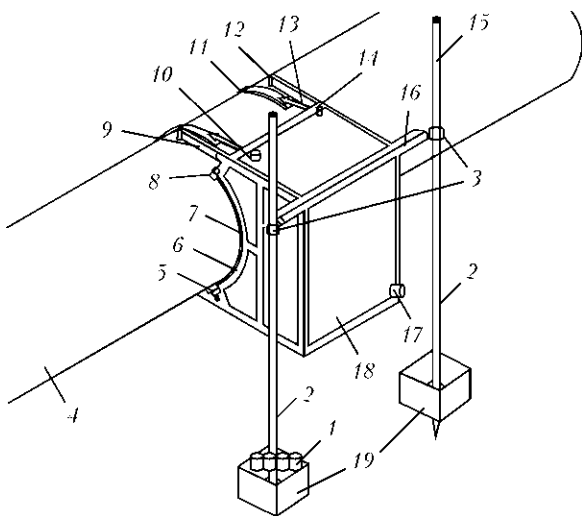


Рис. 1. Схема СПКЗ [7]: 1–19 — см. в тексте



Ремонт дефектов МТ, выполненных ООО «Спецподводремонт» способом сухой подводной сварки

МТ и его характеристики (глубина расположения дефектов)	Заказчик, год выполнения	Дефект	Способ ремонта
Петровск–Новопсков, диаметр 1020 мм на р. Дон (5 м)	ООО «Волгоградтрансгаз», 2006 г.	Сквозной в виде трещины в поперечном сварном шве длиной 180 мм	РДС с последующей установкой муфты МПСС (длина $L = 1400$ мм, давление $P = 217$ МПа)
«Отвод на Заречье», диаметр 530 мм на р. Лена (10 м)	ООО «Сахатранснефтегаз», 2006 г.	То же длиной 360 мм	РДС с последующей установкой муфты ПГМ (длина $L = 990$ мм, $P = 171$ МПа)
Газоотвод Хатассы–Павловск, диаметр 530 мм на р. Лена (10 м)	То же, 2007 г.	То же длиной 280 мм	РДС
Ямбург–Елец 2, диаметр 1220 мм на р. Обь (8 м)	ООО «Тюментрансгаз», 2007 г.	Трещины (стресс-коррозия) на теле трубы в продольном направлении: первая длиной 1660 мм и глубиной 8 мм; вторая длиной 580 мм и глубиной 10 мм	РДС с последующей установкой муфты МПСС ($L = 5200$ мм, $P = 1060$ МПа)

среде защитных газов на МТ, список которых приведен в таблице.

Для всех работ, описанных в таблице, технологический процесс был приблизительно одинаков и включал следующие операции:

- размывку и очистку поверхности трубопровода от гидроизоляции;
- установку кессона и вытеснение воды путем подачи аргона или углекислого газа;
- очистку поверхности трубы на ширину не менее 150 мм от границ предполагаемой выборки дефектного участка механическим способом;
- фиксацию концов трещины сверлением и удаление дефектного металла шлифованием с формированием двух кромок;
- предварительный подогрев до 100...150 °С и сварку;
- неразрушающий контроль сварного соединения;
- демонтаж камеры, установку муфты, восстановление нарушенной гидроизоляции и замык отремонтированного участка трубопровода.

При ремонте сквозного дефекта кольцевого стыкового сварного соединения подводного перехода через р. Лена газопровода Хатассы–Павловск муфта ПГМ не устанавливалась.

Подготовку под РДС дефектов кольцевых стыков сварных соединений труб выполняли в следующем порядке:

очищали поверхность труб механическим способом на ширину не менее 150 мм от границ предполагаемой выборки;

для предотвращения распространения трещины ее края фиксировали путем сверления сверлом диаметром 5 мм на расстоянии 15...30 мм от границ трещины в направлении возможного ее распространения;

производили послонную выборку абразивными кругами дефектного металла для получения необходимой формы кромок под сварку, при этом выборка должна была иметь прямолинейную U-

образную форму с параллельными границами и закругленными углами; ее длина должна перекрывать дефект не менее чем на 30...50 мм в каждую сторону (+30...50 мм на выход абразивного круга в каждую сторону от границ дефекта); в случае, если не требовалось сквозной выборки, дефектный участок удаляли шлифованием до остаточной толщины металла трубы 3,0...3,5 мм; если необходима сквозная выборка, сварку корневого слоя шва осуществляли участками длиной не более 75 мм при криволинейном расположении трещины вдоль кольцевого участка сварного соединения; при ее прямолинейном расположении допускается производить единовременную выборку и сварку корневого слоя шва; сварку заполняющих слоев шва осуществляли обратнотупенчатым способом по всей длине дефектного участка, а облицовочного слоя шва — по всей длине дефектного участка на проход.

Работы по подготовке к ремонту, сварке и контролю качества сварного соединения после ремонта выполняли водолазы-сварщики в водолажном снаряжении в кессоне в атмосфере углекислого газа.

Для сварки корневого слоя использовали электроды типа Э50А диаметром 2,00...3,25 мм марки ЛБ-52У, а для сварки заполняющих и облицовочного слоев — электроды типа Э60 диаметром 3,2...4,0 мм марки ОК 74.70.

Контроль качества сварки производили поперационно визуально и проверкой сплошности наплавленного металла ультразвуковым методом в объеме 100 %. Допустимые размеры дефектов сварных швов не должны были превышать значений, приведенных в РД 558–97.

СПКЗ модификации II является следующим шагом на пути развития технологии ремонта газопроводов с помощью сухой подводной сварки в РФ. Он представляет собой специализированный подводный комплекс (СПК), состоящий из кессона и установочной рамы (рис. 2) и пред-

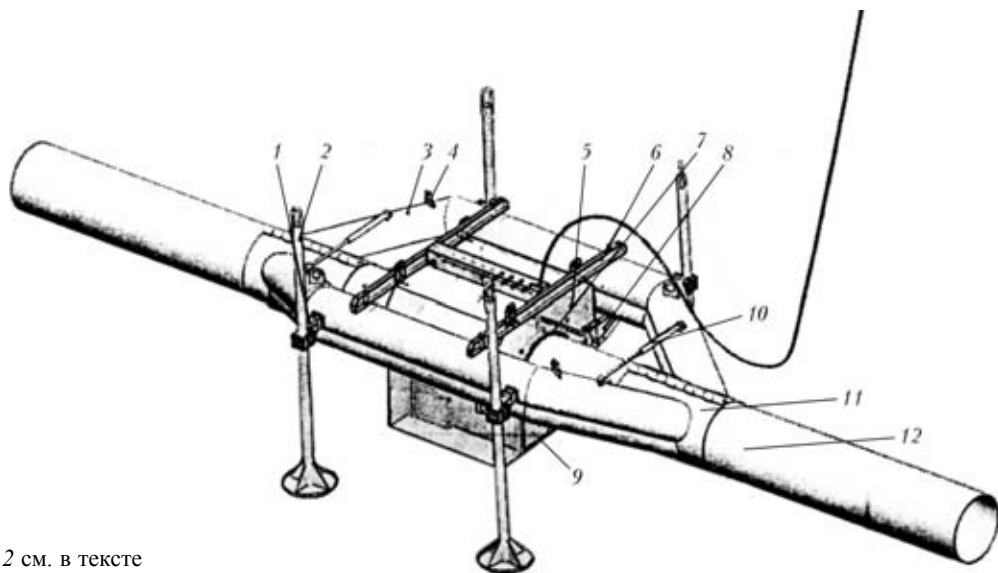


Рис. 2. Схема СПК: 1–12 см. в тексте

назначенный для сварки трубопроводов диаметром 1020 и 1220 мм с толщиной стенки 14...20 мм на глубине от 2 до 30 м. Натурные испытания прошел 27–31 октября 2009 г. С помощью СПК можно вырезать и заменять поврежденные участки трубопроводов, заваривать сквозные и несквозные дефекты, стыковать трубопроводы под водой и выполнять другие сварочные работы на подводных МТ. Общая масса комплекса составляет 25,5 т.

В этой модификации корпус кессона для уменьшения габаритных размеров при транспортировке сделан разъемным (рис. 3). Кессон состоит из пяти основных частей (см. рис. 2): корпуса 5 (верхней и нижней части); герметизирующей створки 9; опорной балки 6; откидного упора 8; пневматического уплотнения 7.

Кессон массой 5,9 т, размером 2,74×4,14×3,06 м и объемом 16,2 м³ позволяет выполнять работы сразу двум водолазам-сварщикам, использующим стандартные сварочные материалы и технологии. В торцах кессона расположены сменные герметизирующие створки 9, которые при установке открыты внутрь. Герметизация створок обеспечивается пористой резиновой прокладкой, а вокруг трубопровода — надувными резиновыми уплотнителями 7. В верхней части корпуса кессона предусмотрен П-образный выступ, в котором расположены крепление грузовых талей, редукторы выдоха и вводы телевизионных кабелей, освещения и шлангов впуска-выпуска газовой смеси. В верхней части кессона расположены опорные балки 6, центрирующие кессон относительно трубы, по которой он скользит вдоль рамы, а на передней и задней стенке кессона — упоры 8, удерживающие кессон от всплытия и центрирующие его. Кессон заполняют углекислым газом или аргоном для предотвращения взрыва в случае попадания газа из ремонтируемого трубопровода внутрь ра-

бочей зоны. Выдыхаемый водолазами-сварщиками воздух через специальную систему удаляется на поверхность, не попадая внутрь кессона. По углам расположены четыре видеокamеры с подсветкой для контроля состояния водолазов и последовательности выполнения ими операций. В комплект оборудования входят две тали грузоподъемностью 2 т каждая, используемые для монтажа трубной вставки. Напряжение для освещения

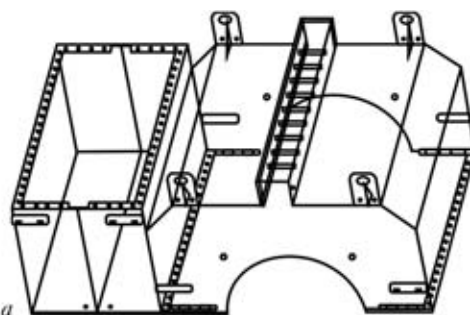


Рис. 3. Схема транспортной компоновки кессона (а) и его внешний вид (б)



и работы оборудования подается через электрический кабель длиной 70 м с соединительной муфтой. Электроды в зону работы транспортируются в специализированном герметичном контейнере.

Установочная рама 3 (см. рис. 2 и 4) предназначена для жесткой фиксации в исходном положении аварийного участка трубопровода 12, во время вырезки катушки, а также для удержания кессона от всплытия при его полной продувке. Она состоит из двух половинок длиной 9,8 м и массой 8,8 т каждая, трубных захватов 11 с полиуретановыми прокладками, гидравлических натяжителей 10, опор 2, шарниров 1 и грузовых проушин 4. Шарнирами рамы являются оси трубных захватов 11, расположенные по краям установочной рамы. Ширина рамы в сборе составляет 6,1 м, высота — 3,1 м. Для зажима трубы на установочной раме смонтированы два гидравлических натяжителя 10, обеспечивающих закрытие-открытие трубных захватов с усилием до 300 кН, работающих от насосной станции с пневматическим приводом. Фиксация установочной рамы на трубопроводе от продольного смещения осуществляется с обеих сторон через створки захвата болтами, которые затягиваются динамометрическим ключом. Усилие зажатия передается на трубопровод через полиуретановые вкладыши трубных захватов 11, смонтированных в торцевых частях установочной рамы 3. Внутренняя полость установочной рамы разделена на шесть балластных отсеков общим объемом 12,8 м³, которые могут заполняться водой или продуваться, при этом изменяется вертикальная нагрузка на трубопровод.

Установочная рама 3 опирается на грунт с помощью четырех регулируемых вертикальных опор 2, которые снимают весовую нагрузку комплекса на трубопровод. Они имеют гидравлические вставки с ручной подкачкой, развивающие усилие 200 кН каждая, ход поршня составляет 360 мм. Опоры могут использоваться для центровки МТ в плоскости верх-низ. Они соединены с рамой шарнирами 1, имеющими две степени свободы. Это позволяет всему комплексу перемещаться в горизонтальной плоскости, что помогает центрировать трубопровод при монтаже катушки.

Для очистки газовой среды кессона от задымления предусмотрена вентиляция. Сварочный дым из внутреннего пространства кессона по отдельному шлангу поступает в дымовой фильтр со сменным фильтрующим элементом и газоанализатором. Очищенный газ через компрессор низкого давления и осушитель с силикогелевым фильтром по шлангу возвращается во внутреннюю полость кессона. Утечки газа в системе пополняются от располагающихся на поверхности



Рис. 4. Внешний вид установочной рамы

транспортных баллонов с углекислым газом или аргоном.

Сварка и другие виды работ также осуществляются внутри кессона водолазы-сварщики, одетые в водолазное снаряжение. Воздух для дыхания водолаза подается по шлангу-кабелю через нижнюю часть кессона. Выдыхаемый водолазами воздух отводится от легочных автоматов-масок по соединенному с выходным штуцером редуктора шлангу в редукторы выдоха, расположенные в противоположных углах внутри верхней части корпуса кессона и за его пределы. Работу пневмоинструмента внутри кессона осуществляют путем подсоединения шлангов через штуцера к вентилям ресиверов, расположенным внутри в верхней его части.

Вырезку дефектного участка кессона производят механической фрезой, имеющей пневматический привод. Возможна вырезка дефекта с помощью газокислородной резки. Пневматический инструмент, используемый для подгонки ввариваемой катушки и зачистки швов, запитывается через компрессор, который отбирает инертный газ из кессона через осушитель и фильтр. Центровку и фиксацию трубной вставки осуществляют с помощью двух стандартных центраторов. В состав комплекса входят два инверторных источника питания дуги с падающими и жесткими внешними вольт-амперными характеристиками.

Все составляющие элементы комплекса можно транспортировать по частям различными видами транспорта, в том числе и автомобилем с кузовом длиной 12 м. Установку можно собирать на берегу в любом удобном месте, а затем буксировать

на плаву к месту проведения работ при минимальной глубине фарватера 2 м. Асимметричность установочной рамы позволяет использовать комплекс на мелководье, при этом для его установки требуется котлован минимального размера. Эти особенности чрезвычайно важны при выполнении работ на несудоходных и малых реках.

Описанные примеры применения технологии сухой сварки в камере, по всей вероятности, и в дальнейшем будут широко использоваться при сборке и ремонте под водой ответственных гидротехнических сооружений, а также низкой степени прозрачности воды.

1. *Bellamy G.* Hyperbaric welding comes of age on frigg gas line // Pipe Line Industry. — 1977. — № 1. — P. 41–43.
2. *Coriatt G.* Hyperbaric welding in the repair of offshore pipelines and structures // 2nd Intern. conf. «Pipe weld», London, 1979. — London, 1979. — P. 343–355.

The information is presented on repairs of underwater passages of main gas and oil pipelines across rivers, which have been performed in the last years in Russia by using dry underwater welding. A new specialised mobile diving complex that passed the full-scale tests in October 2009 is described in detail. The complex is intended for repair of 1020 and 1220 mm diameter main gas pipelines at a depth of 2 to 30 m by using dry underwater welding.

3. *Кононенко В. Я.* Гипербарическая сухая подводная сварка (Обзор) // Автомат. сварка. — 2008. — № 4. — С. 44–50.
4. *Ремонт* нефтепровода под водой с помощью сварки / В. Х. Галюк, К. А. Забела, В. Я. Кононенко и др. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. — 1981. — № 12. — С. 22–24.
5. *Кононенко В. Я.* Технологии подводной сварки и резки. — Киев: Экотехнологія, 2004. — 135 с.
6. *Кононенко В. Я., Пасхин В. В., Беспалов В. И.* Технологии и оборудование для подводно-технических работ при ремонте сваркой дефектов труб и сварных соединений подводных переходов газопроводов // Материалы отрасл. совещ. «Состояние и направления развития сварочного производства ОАО «Газпром», п. Развилка Московской обл., 10–12 нояб. 2008 г. — М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. — С. 68–75.
7. *Пат. 2342492 РФ.* МПК У 02 Д 23/00. Кессон для ремонта подводных трубопроводов / А. Н. Вахаров. — Опулб. 27.12.2008.

Поступила в редакцию 13.11.2009

**10TH EUROPEAN CONFERENCE
ON NON-DESTRUCTIVE TESTING**



10 RSNTTD

Moscow 2010. June 7 – 11
EXHIBITION
www.ecndt2010.ru

**ВПЕРВЫЕ В РОССИИ
крупнейшая в Европе Выставка
Средств Неразрушающего Контроля
2010, 7 – 11 июня, Москва,
Экспоцентр на Красной Пресне**

- 52 страны-участника со всего мира
- 150 ведущих компаний - производителей средств НК
- 36 Национальных обществ НК, EFNDT, ICNDT
- Демонстрация новейшего оборудования на площади 7500м²
- Научные, Учебные и Сертификационные Центры
- 5000 специалистов научных и промышленных предприятий
- Тематические семинары и круглые столы
- Посещение Выставки – БЕСПЛАТНО

Секретариат:
exhibition@ecndt2010.ru
Tel: +7 (495) 411 99 00
Fax: +7 (495) 933 06 56

Генеральный спонсор:



Приглашаем на Выставку Средств НК 10th ECNDT