

# ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВЕСОК КОЛТЮБИНГА

(на примере компании  
ООО «Трайкан Велл Сервис»)

## SUPERVISION OF COILED TUBING OPERATION AND MAINTENANCE

(based on the example of Trican Well Service)

Х.Б. (Берни) ЛУФТ, профессор, старший технический советник  
С.А. ЗАГРАНИЧНЫЙ, технический инженер, Трайкан Велл Сервис

H.B. (Bernie) LUFT, Professor, Senior Technical Advisor  
S.A. ZAGRANICHNY, Technical Engineer, Trican Well Service

Необходимость контроля эксплуатации подвески колтюрбинга обоснована тем, что гибкая труба является наиболее критичным элементом комплекса колтюрбинга, подверженным различным нагрузкам (механический износ, усталость материала, напряжение, давление), и, соответственно, требует повышенного внимания к обслуживанию. Регламент контроля эксплуатации должен быть разработан для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации каждой подвески колтюрбинга и минимизации всех видов риска, связанного с износом трубы, вызванным как механическими и производственными факторами, так и факторами внутрискважинной среды. Таким образом, контроль за эксплуатацией гибкой трубы подразумевает контроль качества вновь изготовленных подвесок, мониторинг общего циклического износа, защиту от коррозии, дефектоскопию (неразрушающий контроль), а также профилактическое обслуживание рабочих подвесок колтюрбинга. В настоящей статье дан обзор принятой практики по такому контролю на примере компании ООО «Трайкан Велл Сервис» («ТВС»).

### БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТАЛОСТНЫЙ ИЗНОС ПОДВЕСКИ КОЛТЮБИНГА

Поскольку гибкая труба является расходным материалом, рассчитанным на ограниченное

The necessity of coiled tubing supervision is stipulated by the fact that a coiled tube is the most critical element of the whole coiled tubing system as is prone to various loads (mechanical wear, material fatigue, stress, pressure), and, consequently, requires special attention during maintenance. It is necessary to develop a regulation on operations control to ensure safe and durable operation of a coiled tube and to minimize all types of risk related to tube wear and tear caused by both mechanical and production factors and borehole environment factors. Thus, control over coiled tube operation means quality control over the newly manufactured tubes, overall cyclic wear, corrosion protection, defectoscopy (nondestructive control) as well as preventive maintenance of the operational tubes. This article provides an overview of the accepted practice of tube control in Trican Well Service (TWS).

### SAFETY AND FATIGUE WEAR OF A COILED TUBE

Coiled tube is a consumable designed for the restricted number of plastic bending cycles. That is why it is important to forecast tube's fatigue life to failure, including both bending fatigue and full cycle of tube tripping. Coiled tube's mean time to failure depends on the dimensions (diameter,

количество циклов пластического изгиба, важно уметь прогнозировать усталостную наработку на отказ, включая как гибкостную усталость, так и полный цикл СПО. Нарботка на отказ трубы колтюбинга зависит от размера (диаметр, толщина стенки), марки стали, амплитуды деформации изгиба, кольцевого напряжения (от внутреннего давления), состояния поверхности трубы (шероховатость, механические повреждения) и ухудшения характеристик под воздействием среды (коррозия, хрупкость материала).

Мониторинг усталостной наработки в «ТВС» ведется двумя основными способами: пробег трубы (метраж) и программное моделирование усталости. Пробег трубы – это суммарная длина трубы на спуске в скважину. Данный способ довольно эффективен при условии, что аналогичное оборудование используется для скважин в похожих условиях; он предполагает последовательный непрерывный учет при работах по ремонту скважин или при бурении. Однако наиболее предпочтительным в индустрии методом учета (используемым и в «ТВС») является мониторинг усталостной нагрузки на различных сегментах трубы при помощи специализированного ПО. Существует несколько программ компьютерного контроля эксплуатации колтюбинга. В «ТВС» используется ПО Cerberus. На рисунке 1 приведен график усталостной истории.

Предел 100% на рисунке 1 представляет критическую усталость какого-либо сегмента на всей протяженности трубы, определяемую как возникновение усталостной трещины. ПО Cerberus определяет безопасный рабочий лимит усталости как 80% от усталостного ресурса колтюбинга. Таким образом, обеспечивается дополнительный безопасный запас прочности, предотвращающий появление негерметичности. Однако это может означать всего несколько дополнительных циклов пластического изгиба до образования трещин в стенке, в особенности при высоких давлениях или при повреждениях трубы. Например, для трубы 60,3 мм марки QT80 с цикличностью на изгибе с радиусом 72" и диаметром катушки 96", количество СПО, необходимых для образования усталостной трещины и разрыва при 70 атм равно 178 (текущее значение) и 219 (программное) циклов соответственно. Это означает, что для данной подвески допустимо еще 41 СПО (при отсутствии повреждений и других признаков разрушения трубы), прежде чем образуется усталостная трещина или «свищ». И наоборот, для той же подвески и установки колтюбинга с теми же параметрами, работающей при 420 атм, всего три дополнительных СПО приведут к появлению усталостной трещины от возникновения до разрыва. Очевидно, что усталостная нагрузка на

wall thickness), steel grade, amplitude of bending deformation, hoop stress (as a result of internal pressure), state of tube's surface (roughness, mechanical damage) and performance deterioration under the influence of the environment (corrosion, metal shortness).

In TWS coiled tube's fatigue life to failure is monitored using two main methods: tube's run distance (metreage) and fatigue simulation. Tube's metreage is the overall tube's length run in borehole. This method is quite efficient provided that similar equipment is used for the wells with similar conditions; this method implies consequential continuous record keeping during well workover or drilling jobs. However, fatigue load monitoring on different tube segments with the use of special software is the most preferable method (used by TWS as well). There are different software programs meant for coiled tube's operation control. TWS utilizes Cerberus software. Figure 1 shows fatigue history graph.

100% limit at Figure 1 represents a critical fatigue of any segment throughout the length of the tube, which means occurrence of a fatigue crack. Cerberus software defines a safe working limit as 80% of the coiled tube's fatigue life. Thus, it ensures additional safety margin allowing to prevent seal failure. However, this can mean only several additional plastic bending cycles before a crack appears, especially under high pressures and in case of tube damage. For example, the number of trips of a 60,3-mm QT80 tube with bending cycles radius of 72" and reel diameter of 96" before crack formation and break-down at the pressure of 70 atmospheres



**Рисунок 1 – График усталости гибкой трубы в ПО Cerberus**

**Figure 1 – Coiled tube fatigue chart, Cerberus software**

is 178 (current value) and 219 (software value) respectively. It means that for this particular tube it is acceptable to have 41 more trips (if there is no tube damage or other features of tube wrecking) before a fatigue crack or a wormhole occurs. And, vice versa, for the same tube and CT unit with the same parameters, operating at 420 atmospheres only three additional trips will lead to fatigue fracture formation and breakdown of a tube. It is obvious

подвеску колтюбинга, приведенная на рисунке 1, неравномерно распределена по длине трубы и некоторые ее сегменты приближаются к безопасным рабочим лимитам быстрее, чем другие.

Еще одно наблюдение, основанное на рисунке 1, – наличие различных скачков в записи усталости в местах расположения сварных соединений. С целью учета того, что в местах сварных швов усталостная стойкость ниже, чем у остальной трубы, ПО Cerberus увеличивает скорость усталостного износа в этих местах. Таким образом, максимальный усталостный лимит в 80% от усталостного ресурса пришелся на 4170 м от конца барабана и фактически обусловлен наличием там сварного шва.

Если бы пробег трубы (метраж) был основным критерием усталостного ресурса трубы и ее безопасного применения, то следовало бы предположить, что усталостная нагрузка равномерно распределяется по всей длине трубы, а это, как следует из графика на рисунке 1, очевидно, не так.

### ВЛИЯНИЕ УХУДШЕНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА БЕЗОПАСНЫЙ УСТАЛОСТНЫЙ РЕСУРС ТРУБЫ

Коэффициент запаса прочности в 80%, применяемый ПО Cerberus к усредненному усталостному ресурсу колтюбинга, измеряемому в лаборатории с использованием новых образцов трубы, обеспечивает запас усталостного отказа, связанного с испытаниями, свойствами материала и производственными факторами. Примером этого могут служить изменчивость конкретных результатов испытаний (стандартные отклонения данных), изменения свойств материала трубы и/или геометрические свойства при эксплуатации, увеличение диаметра или выпучивание, неоднородность механических свойств, неизмеряемые и неучитываемые эффекты при теоретическом моделировании усталостной стойкости и т.п. Однако наиболее существенные воздействия ухудшения свойств материала на усталость колтюбинга, такие как механические повреждения и коррозия, в совокупности составляющие 2/3 причин отказа колтюбинга при эксплуатации, следует рассматривать отдельно.

Характеристики поверхностных повреждений выражаются в конкретных критических параметрах, таких как длина, ширина, глубина и направление изъянов, выявленных как в ходе испытаний при перематке, так и при визуальном осмотре, где метод испытаний при перематке невозможен. Расчетный коэффициент снижения номинальных параметров затем применяется к остаточному безопасному усталостному ресурсу, смоделированному при помощи программы Cerberus.

## ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВЕСОК КОЛТЮБИНГА

### SUPERVISION OF COILED TUBING OPERATION AND MAINTENANCE

that the fatigue load specified at Figure 1 is not evenly distributed longwise the tube and some of the tube's segments are achieving safe operational limits quicker than others.

Figure 1 also shows fatigue value peaks at the place of weld seams location. Cerberus software increases the rate of fatigue wear on the weld seams taking into account that their fatigue endurance is lower than the fatigue endurance of the rest of the tube. So, the maximum fatigue limit of 80% of the tube's fatigue life fell at 4,170 meters from reel core end and is actually stipulated by the presence of a weld seam at that point.

If tube's run distance (metreage) was the main criterion of the tube's fatigue life and its safe operation, we would assume that fatigue load is evenly distributed throughout the length of the tube, however we see from Figure 1 that it is not the case.

### EFFECT OF MATERIALS' PROPERTIES DETERIORATION ON THE TUBE'S SAFE FATIGUE LIFE

80% safety margin rate, applied by Cerberus software to the tube's average fatigue life measured at a laboratory using samples of new tubes, provides a certain margin in terms of fatigue failure associated with tests, properties of materials and production factors. Variability of specific test results (standard data deviations), alteration of the tube's material properties and/or geometrical properties during operation, diameter enlargement or buckling, inhomogeneity of mechanical properties, non-measurable and unsustainable effects during theoretical simulation of fatigue endurance are the examples of the abovementioned. However, the most significant effects of material properties deterioration like mechanical damage and corrosion which attribute to 2/3 of coiled tubing failure during operation shall be considered separately.

Surface damage features are manifested in such critical parameters as length, width, depth and direction of the defects, detected both during respooling tests and during visual inspection when respooling is impossible. Design coefficient of nominal parameters reduction is then applied to the residual safe fatigue life simulated by Cerberus software.

### PRODUCTION CONTROL OVER THE TUBE'S LIFE

TWS utilizes AradiaCTOperations software – coiled tubing control system located on the web-site

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ИСТОРИИ ТРУБЫ

«ТВС» использует программное обеспечение AradiaCTOperations – систему контроля подвесок колтюбинга, размещенное на интернет-портале **www.ctfatigue.com**. Данный ресурс служит для отслеживания статуса и истории всех подвесок колтюбинга «ТВС», задействованных в производстве по всему миру. Данная система недавно была введена в обращение в РФ. Она предоставляет онлайн-анализ текущего состояния гибких труб, историю профилактического обслуживания (инспекция при перемотке трубы, ремонт и модификации трубы), а также множество других функций контроля, таких как анализ рабочих данных, планирование, распределение, списание и отчет после операции.

Пример одного из рабочих экранов приведен на рисунке 2. На рисунке приведены рабочие данные по трубе 44,5 мм марки GT90. На экране отображаются максимальная усталостная выработка (по расчетам Cerberus), а также общий пробег 207,059 м при выработке усталостного ресурса 55% на момент списания данной подвески.

## ДЕФЕКТОСКОПИЯ (НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Перед каждой операцией на скважине «ТВС» производит гидростатическое испытание подвесок колтюбинга, как новых, так и с пробегом. Для новых подвесок гидростатическое испытание проводится в течение 15 мин на таком уровне, чтобы максимальное совокупное напряжение Вон Майса на внутреннем диаметре было равно 90% МППМ (минимальному пределу прочности материала), основанному на номинальном наружном диаметре и минимальной толщине стенок для каждой марки стали гибкой трубы. (МППМ для марки 90, например, будет равен 90,000 psi). Для гибкой трубы с пробегом «ТВС» следует рекомендуемым в промышленности рекомендациям (IRP 21), разработанным в Канаде. В рамках данных рекомендаций давление опрессовки должно соответствовать меньшему из следующих двух: расчетное устьевое давление либо 110% максимального ожидаемого избыточного давления на устье.

Помимо следования правилам IRP 21, регламент «ТВС» предусматривает учет истончения стенок по причине коррозии или механических повреждений, таких как износ или эрозия, поскольку давление, на которое рассчитана гибкая труба, зависит от минимальной толщины стенки. Постоянно отслеживаются признаки механического, коррозионного и других повреждений трубы, а также ухудшений свойств материала перед работой и на протяжении всей операции с колтюбингом. При визуальном обнаружении дефекта проводится более тщательная проверка, включающая в себя:

**www.ctfatigue.com**. This web-site is meant for tracking the status and history of all the coiled tubes operating worldwide. This system has recently been put into practice in Russia. This system provides on-line analysis of coiled tube state, preventive maintenance (inspection during tube repooling, repair works, tube modifications) and many other control functions such as operational data analysis, planning, distribution, decommissioning and after-job reports.

Figure 2 shows one of the software screenshots. The figure shows operational data for 44.5-mm GT90 tube. The screen depicts maximum fatigue (according to Cerberus), and the total run distance – 207,059 m with 55% fatigue at the moment of tube decommissioning.

## ДЕФЕКТОСКОПИЯ (NON-DESTRUCTIVE CONTROL) AND LEAK-TIGHTNESS

Prior to any job on a well TWS conducts hydrostatic testing of coiled tubes, both new and used ones. For new tubes hydrostatic tests are conducted within 15 minutes at a level so that the total Von Mises tension on the inner diameter equals to 90% of SMYS (specified minimum yield strength), based on nominal outer diameter and minimum wall thickness for each steel grade of a coiled tube. (SMYS for grade 90, for example, will be 90,000 psi). As for the used coiled tubes, TWS follows the recommended practices (IRP 21) developed in Canada. Within the framework of such recommended practices proof-test pressure



**Рисунок 2 – Интернет-страница с отчетом о работе AradiaCTOperations**  
**Figure 2 – Web page with AradiaCTOperations report**

shall correspond to the lesser of the following two: design wellhead pressure or 110% of the maximum expected excessive wellhead pressure.

Besides implementation of IRP 21 rules, TWS's regulation provides for taking into account tube's wall thinning due to corrosion or mechanical



- измерение минимального и максимального наружного диаметров;
- расчет среднего диаметра и овальности трубы, основанный на вышеупомянутых замерах;
- измерение максимальной глубины конкретного повреждения;
- микросъемка деталей повреждения.

Измерения сопоставляются с ограничениями по эксплуатации компании «ТВС», приведенными ниже. Общее правило в зависимости от видов проведенных работ – подвеска, достигшая от 150 000 м до 200 000 м пробега, подвергается тщательной проверке и при возможности – испытаниям с привлечением подрядной организации и проведением инспекции трубы при перематке, с целью определения дополнительного ресурса. Что касается новой или б/у трубы, хранившейся на открытом воздухе в течение продолжительного времени, в особенности неподалеку от моря, ее подвергают проверке на предмет признаков коррозии вследствие хранения и оценивают ее эксплуатационную пригодность.

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ГЕОМЕТРИИ ТРУБЫ

Эксплуатационные ограничения для гибких труб, находящихся в работе, обычно находятся в соответствии с промышленными стандартами и рекомендованным регламентом, такими как уже упоминавшиеся IRP 21.

Подвеска колтюбинга считается непригодной для операции на скважине, если есть какие-либо из следующих изменений геометрии одной из секций трубы:

- Увеличенный наружный диаметр: раздутие или расширение наружного диаметра более чем на 5%.
- Овальность: овальность или некруглость превышает 5%.
- Потери в толщине стенок: потеря средней толщины стенки (ТС) превышает на 10% номинальную ТС. Локальная потеря ТС после шлиф-ремонта оценивается, и трубе присваивается коэффициент снижения номинальных параметров, при этом необязательно изъятие из эксплуатации.
- Глубина коррозионной язвы: максимальная глубина превосходит 5% локального замера ТС.
- Трещины: не допускаются (ни наружные, ни внутренние).
- Гибкая труба и зазор в герметизаторе: внутренний зазор между максимальным Øн и минимальным Øвн в герметизаторе – менее 0,05 см.

## СПИСАНИЕ ПОДВЕСКИ КОЛТЮБИНГА

Независимо от эксплуатационных ограничений по геометрии, описанных выше, решение о полном

## ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВЕСОК КОЛТЮБИНГА

### SUPERVISION OF COILED TUBING OPERATION AND MAINTENANCE

damage such as wear or erosion, since the pressure, coiled tube is designed for, depends on minimum wall thickness. Prior to the job and during job performance TWS continuously tracks the signs of mechanical, corrosion and other types of tube's damage, as well as deterioration of materials' properties. If defects are visually detected we conduct a more thorough inspection that includes:

- measurement of the maximum and minimum outer diameters;
- computation of a mean diameter and tube ovality based on the abovementioned measurements;
- measurement of the maximum depth of the specific defect;
- microphotography of the defect details.

The measurements are then compared to TWS's operating limits, mentioned below. We apply a general rule depending on the type of jobs performed – coiled tube with the run distance from 150,000 to 200,000 meters is submitted to thorough examination, and, if possible, to tests (engaging contractors) and inspection during respooling process in order to identify additional tube resource. As for the new or used tubes that were stored in the open air for a long time, especially not far from sea, they are subject to inspection to detect corrosion signs resulting from storage, and operational ability of such tubes is assessed.

## OPERATIONAL LIMITATIONS IN TERMS OF TUBE GEOMETRY

Limitations for the operational coiled tubes are usually in line with the industrial standards and recommended regulations such as the abovementioned IRP 21 regulation.

Coiled tube is recognized unsuitable for operation if it has one of the following geometry changes of one of its sections:

- Enlarged outer diameter: buckling or more than 5% enlargement of the outer diameter.
- Ovality: more than 5% ovality.
- Wall thinning: reduction of the average wall thickness by more than 10% of the nominal wall thickness. Local reduction of wall thickness after repair by grinding is evaluated and the tube is assigned a derating factor, which does not necessarily mean withdrawing from service.
- Corrosion pit depth: maximum depth is more than 5% of the locally measured wall thickness.
- Cracks: not allowed (neither external nor internal).
- Coiled tube and sealer clearance: internal

изъятии подвески колтюбинга из эксплуатации определяется остаточным усталостным ресурсом в соответствии с компьютерной записью и историей подвески, отслеживаемой программой контроля трубы AradiaCTOperations. Опыт показывает, что редкая подвеска колтюбинга служит до полной выработки усталостного ресурса, так как невозможно избежать повреждений, коррозии и других разрушающих факторов, действующих на трубу в течение всего срока эксплуатации.

Как уже отмечалось, основной фактор необходимости проверки гибкой трубы – достижение ею 150 000 м пробега. Однако, как показано на рисунке 2, подвеска может существенно превысить данную цифру, не достигнув при этом критического эксплуатационного лимита. Для увеличения срока службы трубы возможно укорачивание концевой секции трубы для смещения усталостного износа на другую, менее подвергнувшуюся пластическому износу, секцию трубы. Независимо от остаточного усталостного ресурса, подвеска может быть изъята из эксплуатации при определенных условиях, представляющих высокий риск отказа, таких как при работе с сероводородом.

## ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

Труба подвержена множеству различных воздействий, как химических, так и со стороны среды, если не принимаются соответствующие меры защиты. В среднем по индустрии на долю коррозии выпадает 30–50% всех отказов трубы. При этом коррозия необратима. Если она образовалась, ликвидировать полностью ее последствия практически невозможно. В «ТВС» имеются процедуры «продувки» коррозионных жидкостей азотом, гашения после кислотных работ, противотрещинный ингибитор для сероводородной среды (воздействие жидкого сероводорода ( $H_2S$ ) и защиты от коррозии во время хранения или транспортировки морем.

Для внутреннего ингибирования объем ингибитора размещают между двумя пачками пены и прокачивают по гибкой трубе азотом, чтобы распределить равномерный слой ингибитора по внутренней поверхности трубы. Затем, после закачки азота, оба конца гибкой трубы герметизируют при давлении несколько выше атмосферного.

## РЕМОНТ ПОДВЕСКИ КОЛТЮБИНГА

В материалах 10-го заседания Европейского круглого стола по колтюбингу и внутрискважинным работам 10–16 ноября 2004 г. была опубликована процедура «Устранение дефектов на поверхности колтюбинга», принятая в «ТВС» в качестве стандартного метода устранения

clearance between the maximum outer diameter and minimum inner diameter in the sealer – less than 0.05 cm.

## COILED TUBE DISPOSAL

Regardless of the abovementioned operational limitations in terms of geometry, the decision on tube's full withdrawal from operation is stipulated by the residual fatigue life in accordance with the computer record and tube history traced by AradiaCTOperations. Experience shows that hardly any coiled tube operates to the very end of its fatigue life, as it is impossible to avoid damage, corrosion and other destructive factors affecting the tube throughout its operation life.

As it has already been mentioned, when a coiled tube's run distance reaches 150,000 meters it is necessary to inspect the tube. However, as Figure 2 shows, a coiled tube may run much more than 150,000 meters without reaching its critical operations limit. To prolong the tube's operating life it is possible to shorten its end section in order to move the fatigue wear to another tube's section, which was subject to plastic wear to a lesser extent. Regardless of its residual fatigue life, the tube can be withdrawn from operation under conditions posing high failure risk, such as operation in  $H_2S$  environment.

## CORROSION PROTECTION

Coiled tube is prone to different impacts – both chemical ones and impacts of the environment the tube operates in. On average 30 to 50% of all the tube failures are attributable to corrosion. Corrosion is an irreversible process, so if it occurs you are never able to fully eliminate its consequences. In TWS we do the following corrosion protection procedures: corrosive liquids displacement with the use of nitrogen, acid neutralization after acid treatment jobs, application of an anti-crack inhibitor for  $H_2S$  environment (this inhibitor prevents impact of liquid  $H_2S$  and protects from corrosion during coiled tube storage and transportation by sea).

For internal inhibition we put a certain amount of inhibitor between two packs of foam and pump it through the coiled tube with the use of nitrogen to evenly distribute the inhibitor on the tube's inner surface. Then, after pumping the nitrogen in, both ends of the coiled tube are sealed at the pressure slightly above the atmospheric one.

## COILED TUBE REPAIR

The proceedings of the 10th European Coiled Tubing and Well Intervention Round Table, held on November 10–16, 2004, contained a procedure titled "Repair of Defects on the Coiled Tube's Surface". This procedure is applied by TWS (when

наружных поверхностных дефектов и применяемая по мере необходимости. Последняя версия ПО FlexorTU позволяет спрогнозировать общее усталостное восстановление в результате шлиф-ремонта в соответствии с данной процедурой.

Проводились различные исследования по ремонту колтюбинга при помощи сварки с использованием швов встык и кольцевых швов. Как правило, усталостная стойкость стыковых и кольцевых швов составляет 25–40% от стойкости трубы без швов, если швы были результатом дуговой сварки вручную. Помимо мониторинга усталостной стойкости при помощи ПО Cerberus, стыковой шов можно изъять из трубы и сварить ее заново после нескольких СПО (от 10 до 20) в зависимости от особенностей конкретных работ. Предположим, что высококачественная дуговая сварка дает 40% от базового усталостного ресурса, понятно, что ремонт гибкой трубы, требующий шлифовки материала на глубину 35% толщины стенки и более, лучше осуществлять при помощи стыковой/кольцевой сварки.

Зачастую последний метод предпочтительнее, особенно в случае многочисленных повреждений, когда шлиф-ремонт непрактичен.

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ГИБКОЙ ТРУБЫ

«ТВС» предпринимает постоянные усилия по улучшению программы минимизации риска отказа и увеличения сроков эксплуатации подвески колтюбинга. В качестве примера приведем следующие исследования и разработки, а также аналогичные проекты, проводимые в данное время или находящиеся на рассмотрении:

- Установка и использование аппарата пластической усталости (АПУ): мониторинг эксплуатации колтюбинга, дополнительные испытания на предмет дефектов и повреждений, усталостные характеристики стыковых/кольцевых сварных швов, исследования и разработки инструментов для колтюбинга.
- Программа мониторинга: подразумевает проверку образцов рабочих подвесок колтюбинга, предоставляемых с производственных участков, оценку их эксплуатационной пригодности, включая АПУ действительных дефектов и повреждений испытываемой трубы.
- Мониторинг в режиме реального времени наружного диаметра, овальности и ТС для критических и высокопрофильных работ.
- Подготовка Атласа повреждений гибкой трубы для производственного персонала.
- Испытания усталости образцов, изъятых из списанных подвесок, с целью оценки остаточного усталостного ресурса. ☉

### ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВЕСОК КОЛТЮБИНГА

#### SUPERVISION OF COILED TUBING OPERATION AND MAINTENANCE

needed) as a standard method of repairing external surface defects. The latest version of FlexorTU software allows forecasting total fatigue recovery as a result of repair by grinding in accordance with the mentioned procedure.

We conducted different research in the field of coiled tubing repair using butt welding and circular welding. If manual arch welding is applied, fatigue life of such butt and circular welds is usually 25–40% of the fatigue life of a tube without welds. Besides fatigue endurance monitoring with the use of Cerberus software, it is possible to cut the butt weld out of the tube and weld the tube again after several trips (10 to 20) depending on the peculiarities of the jobs it performed. Let's suppose that high-quality arch welding provides 40% of the base fatigue life of a tube. It is quite clear that coiled tube repair that requires grinding the material to the depth of 35% of the wall thickness and more is better to be done by means of butt/circular welding.

The latter method is more preferable, especially in case of numerous defects, when grinding is not practical.

#### IMPROVING CONTROL OVER COILED TUBE'S OPERATIONAL ABILITY

TWS makes continuous efforts to improve its program aimed at failure risk minimization and prolongation of a coiled tube's operational life. As an illustration of the abovementioned, below we mention our research and developments as well as similar projects being currently implemented or being under consideration:

- Installation and utilization of a plastic fatigue device: coiled tubing operations monitoring, additional tests with a view to defects and damages, fatigue characteristics of butt/circular welds, research and development of tools for coiled tubing.
- Monitoring program: includes examination of the samples of operational coiled tubes from the sites, assessment of their operational ability including (plastic fatigue device) assessment of actual defects of the tested tube.
- Real-time monitoring of the tube's outer diameter, ovality and wall thickness for critical and very special jobs.
- Preparation of Coiled Tube Defect Atlas for the operating personnel.
- Testing the fatigue of the samples of disposed coiled tubes in order to assess their residual fatigue life. ☉