

# ИННОВАЦИОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ГИБКОЙ ТРУБЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

## IMPROVED COILED TUBING STRING DESIGN FOR HORIZONTAL APPLICATIONS

Гарри МАККЛЕЛЛАНД, вице-президент по продажам и маркетингу, Global Tubing  
Garry MCCLELLAND, VP Technical Sales and Marketing, Global Tubing

### Введение

В последние годы гибкая труба стала все чаще использоваться для заканчивания горизонтальных скважин на нетрадиционных месторождениях углеводородов. При этом сервисные и добывающие компании обнаружили, что усталостная прочность колонны гибких труб иногда существенно отличается от значений, предсказываемых традиционными моделями развития усталости. В частности, компании, использующие колтюбинг, отмечают тот факт, что угловые швы в некоторых частях гибкой трубы иногда отказывают раньше расчетного срока своей службы. Для преодоления вышеупомянутых проблем компания Global Tubing выпустила на рынок новинку SMARTaper®, гибкую трубу с инновационным дизайном, которая характеризуется большим сроком службы, а также позволяет повысить безопасность операций при разработке нетрадиционных месторождений.

### Вводная информация: производство гибкой трубы

Обычно стальные полосы (штрипс) соединяются встык при помощи плазменной сварки (PAW), формируя так называемый угловой шов. Дополнительные полосы соединяются вместе до тех пор, пока не будет достигнута нужная (проектная) для гибкой трубы длина. После этого из стального штрипса формируют непосредственно саму трубу и выполняют сварочные работы в продольном направлении, используя метод высокочастотной индукционной сварки.

### Introduction

In recent years, coiled tubing has become the product of choice for completing horizontal wells in unconventional resource plays. In these applications, service companies and operators have found that fatigue life performance of the tubing sometimes varies significantly from the life predicted using conventional fatigue models. In particular, users have found that bias welds in certain portions of the string sometimes fail before their predicted safe working life. To address this issue, Global Tubing has introduced SMARTaper®, a patent-pending coiled tubing product designed to extend fatigue life and improve safety in unconventional resource development.

### Background: Coiled Tubing Manufacturing

Traditionally, steel strips are joined end-to-end using the plasma arc welding (“PAW”) process forming what is commonly known in the industry as the bias weld. Additional strips are joined together until the total length of the coiled tubing string is assembled. The final length of steel strip is then formed into tube and welded longitudinally using a high frequency induction (“HFI”) welding process.

### Fatigue performance in unconventional applications

Figure 1 shows a typical plot showing accumulated plastic fatigue of a 6,500 meter

## Усталостные характеристики гибкой трубы при ее использовании на нетрадиционных месторождениях

На рисунке 1 показан типичный график, демонстрирующий накопленную пластическую усталость гибкой трубы длиной 6500 м после ее изъятия из эксплуатации в горизонтальных скважинах. Часть трубы, находившаяся у сердечника барабана, расположена слева на рисунке, а противоположная (забойная) часть трубы – справа. Видно, что на центральную часть колонны приходятся наибольшие значения накопленной пластической усталости. Вдобавок на рисунке можно видеть крупные пики пластической усталости вдоль всей длины гибкой трубы. Наиболее заметными, однако, являются пики, расположенные в центре колонны. Каждый из этих пиков соответствует своему угловому шву, который соединяет определенные части штрипса в процессе изготовления гибкой трубы. Установлено, что угловые швы, соединяющие собой стальные полосы одинаковой толщины, имеют усталостную прочность на уровне 80% от таковой у прилегающего основного материала. Следовательно, каждый цикл изгиба генерирует на 20% больше (по сравнению с основным материалом трубы) усталостных повреждений в районе угловых швов. Пики, представленные на рисунке 1, обусловлены именно этой дополнительной (по отношению к усталости основного материала) пластической усталостью.

Известно, что увеличение толщины стенок гибкой трубы позволяет улучшить ее усталостные характеристики, а также расширить допустимый диапазон рабочих давлений и осевых нагрузок на трубу. Поэтому многие инженеры утолщают стенки трубы у конца, находящегося ближе к устью, где велики осевые нагрузки, а также в середине колонны, где важна высокая усталостная прочность. На противоположном конце трубы (находящемся ближе к забою), где нагрузки уменьшаются, они делают стенки более тонкими, так как это способствует увеличению глубины проникновения трубы в скважину.

Таким образом, задача состоит в том, чтобы спроектировать колонну для использования в горизонтальных скважинах с оптимизированной усталостной долговечностью, адекватным диапазоном рабочих давлений и механическими свойствами, достаточными для противостояния скважинным нагрузкам.

При работе на нетрадиционных месторождениях требуются гибкие трубы с более широким диапазоном рабочих давлений, а также увеличенной досягаемостью (глубиной проникновения) для того, чтобы проникать в длинные горизонтальные стволы. В результате индустрия пришла к увеличению диаметра используемых колонн, что позволяет уменьшить внутреннее давление и сохранить при этом объемную

string after retirement in horizontal applications. The core of the reel is on the left, and the bottom hole section is on the right. Most of the accumulated plastic fatigue is in the center of the string. In addition, significant spikes can be seen along the length, but most prominently in the center of the string. Each of these spikes is a bias weld where the strips are joined together in the manufacturing process. It is commonly agreed that bias welds joining equivalent wall thicknesses together perform about 80% as well as the adjacent base material. Therefore, each bending cycle consumes fatigue life at a rate of 1.2 times the base material. The spikes represent this additional accumulated plastic fatigue relative to the base material.

In addition, an increase in wall thickness of the tube will increase the bending fatigue performance as well as the pressure capacity and axial load capacity of the tube. For this reason, many engineers utilize heavier wall thickness at the top of their strings where axial capacity is important and in the middle of strings where high fatigue is prevalent. At the bottom of the string, they use thinner wall material where stresses are reduced and extended reach is important.

The challenge is to design a string for these applications with optimized fatigue life, adequate pressure capacity, and sufficient mechanical properties to withstand the stresses downhole.

These unconventional plays have increased the pressure and reach requirements in order to complete long horizontal sections. As a result, the industry has compensated with larger diameters to reduce pressure and maintain volumetric flow, but the end result has been heavier strings which ultimately require higher mechanical properties, and heavier wall thickness to handle the increased weight.

To accomplish this, the strings must be carefully engineered to balance weight, fatigue performance, and reach. SMARTaper®, recently introduced by Global Tubing, gives engineers a new design tool to make these modifications.

## What is SMARTaper®?

SMARTaper is a revolutionary, patent-pending design tool which increases design flexibility and maximizes fatigue performance of coiled tubing strings.

Fatigue Performance  
50.8 mm Diameter (5.18 mm – 4.45 mm) 6,500 meters

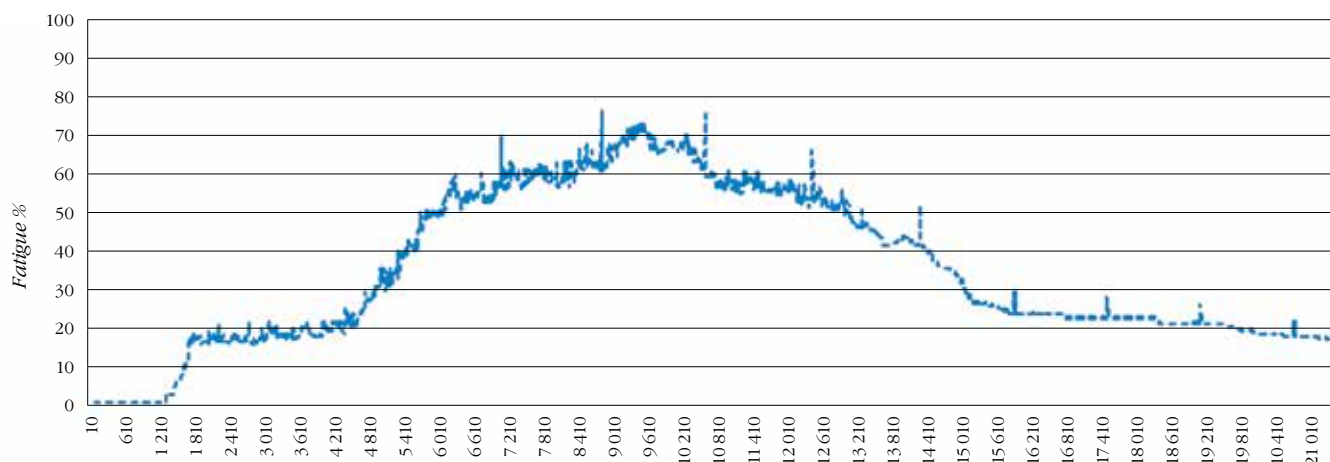


Рисунок 1 – Усталостная характеристика типичной колонны ГТ, применявшейся в горизонтальных скважинах  
Figure 1 – Fatigue performance of a typical string used in horizontal completions

скорость потока. Однако это привело к утяжелению колонн, а значит, и к необходимости использовать более прочную сталь и увеличивать толщину стенок для противостояния возросшим нагрузкам.

Чтобы справиться со всем этим, колонны нужно грамотно проектировать, создавая баланс между весом, усталостной прочностью и глубиной проникновения в скважину. Новый дизайн трубы SMARTaper®, недавно представленный компанией Global Tubing, дает инженерам инновационный инструмент для воплощения в жизнь вышеупомянутых модификаций.

### Что такое SMARTaper®?

SMARTaper – это революционный инструмент для проектирования, который улучшает гибкость конструктивных решений и максимально увеличивает усталостную прочность колонн гибких труб. Вопрос о выдаче патента на данный инструмент в настоящее время рассматривается. Как было упомянуто выше, увеличение толщины стенок трубы повышает усталостную стойкость колонны. Вдобавок нам известно, что угловые швы накапливают усталость быстрее (рисунок 1). Решением всех проблем является труба SMARTaper®, которая сочетает в себе более толстые стенки в районе угловых швов. Толщина стенок, однако, по мере удаления от углового шва быстро уменьшается, что приемлемо с точки зрения устойчивости к давлению и осевым нагрузкам, а также приводит к минимизации веса колонны труб. Рисунок 2 демонстрирует, как именно происходит изменение толщины стенок в районе угловых швов на примере небольшого участка трубы SMARTaper®. Области, соответствующие наибольшему накоплению пластической усталости (рисунок 1), будут выполнены по технологии SMARTaper®.

As discussed above, we know increasing wall thickness will increase the fatigue life of a string. In addition, we know the bias welds accumulate fatigue faster as shown in Figure 1. The solution is SMARTaper®, which takes advantage of the heavier wall thickness at the bias welds, but transitions relatively quickly to a lesser wall thickness which is acceptable for the axial loads and pressure, while minimizing weight. Figure 2 emphasizes the wall thickness change at each bias weld for a few sections of SMARTaper®. The areas with the highest fatigue as shown in Figure 1 would be constructed of SMARTaper®.

### How does SMARTaper® improve the fatigue life?

By increasing wall thickness at each of the welds, these areas accumulate fatigue slower than the adjacent-nominal wall thickness material. Figure 3 shows the difference between a typical string where the reduction in bias weld fatigue life can be seen by the dashed line, and a SMARTaper® string as shown in the solid line. The lower fatigue in the SMARTaper® sections still has a bias weld in the center with a standard 80% derating, but since the adjacent wall thickness is thicker, the overall accumulated fatigue is reduced. This means longer string life, and better performance at the bias weld.

## Как SMARTaper® повышает усталостную стойкость?

Увеличение толщины стенок в районе каждого из угловых швов приводит к тому, что эти области накапливают усталость медленнее, чем прилегающий материал трубы с номинальной толщиной стенок. Рисунок 3 показывает разницу между типичной колонной гибких труб, где уменьшение усталостной прочности в области угловых швов изображено при помощи синей штриховой линии, и колонной, выполненной по технологии SMARTaper® (зеленая сплошная линия). На рисунке видно, что у трубы SMARTaper® околошовные области имеют меньшую накопленную усталость. Пики, соответствующие угловым швам, по-прежнему присутствуют, а их

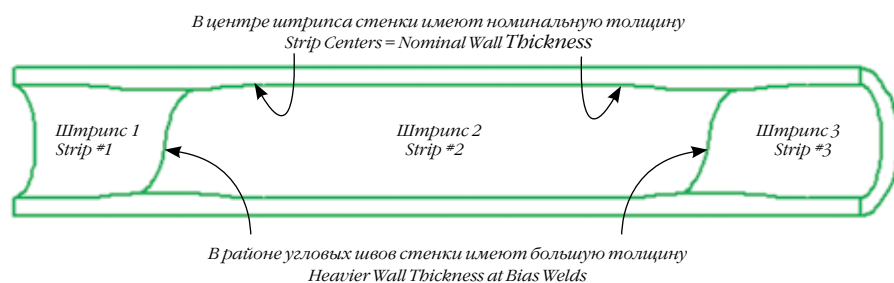
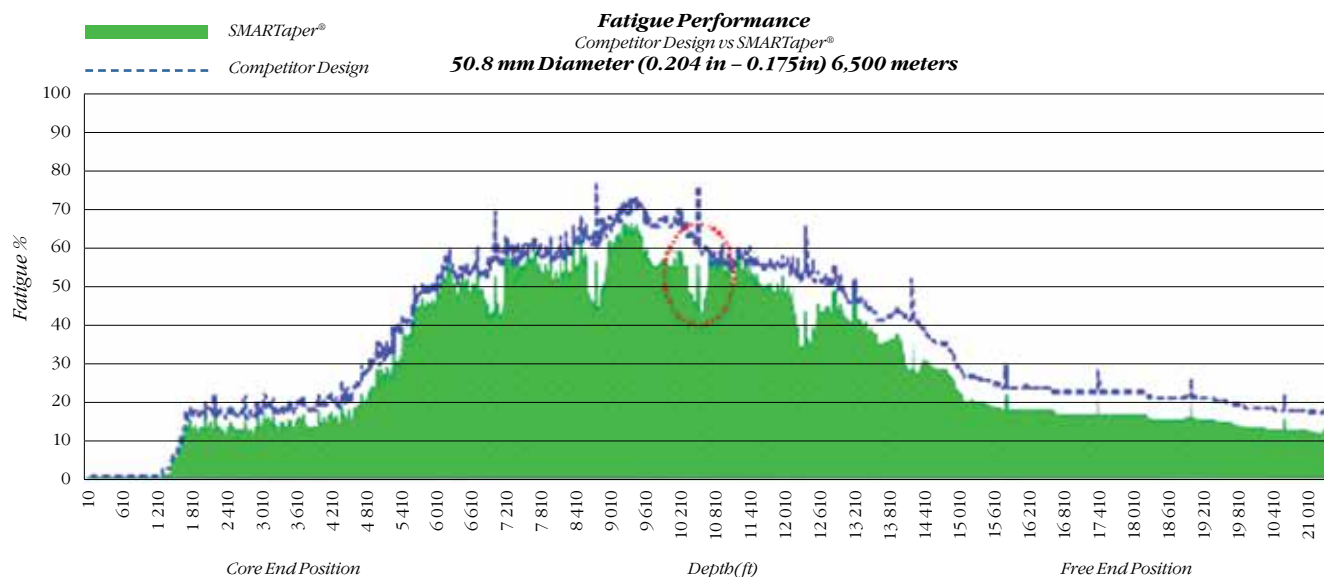


Рисунок 2 – Концепция трубы SMARTaper®  
Figure 2 – SMARTaper® concept



усталостный ресурс все равно составляет 80% от номинального. Однако, благодаря более толстым стенкам в околошовной области, общая накопленная пластическая усталость оказывается меньше таковой у обычной колонны. Это означает, что колонна будет служить дольше, а ее характеристики в районе угловых швов улучшатся.

## Как SMARTaper® улучшает гибкость конструктивных решений?

Теперь клиенты могут оптимизировать конструкцию колонн гибких труб исходя из учета скважинных характеристик.

Рисунок 3 – Сравнение усталостной характеристики трубы, выполненной по технологии SMARTaper®, с таковой у традиционной колонны гибких труб. Зеленая сплошная область демонстрирует меньшую накопленную пластическую усталость и большую усталостную долговечность по сравнению с конкурентом, а также указывает на уменьшение накопленной усталости в районе угловых швов

Figure 3 – A comparison of a competitor's traditional string design and material compared to SMARTaper® technology. The solid plot represents lower accumulated plastic fatigue and longer life than the competition as well as reduced accumulated fatigue at the bias welds

Толщина стенок для каждого штрипса может выбираться индивидуально с целью учета усталости и напряжений. Использование штрипса технологии SMARTaper® для изменения толщины стенок в необходимых местах повышает область применимости колонны гибких труб. Например, можно реализовать быстрые переходы от более толстых стенок к более тонким, что улучшит глубину проникновения колонны в горизонтальные стволы.

### Как SMARTaper® улучшает мобильность и вес колонны гибких труб?

Одним из общепринятых решений, используемых сегодня, является применение более тонкой стали в верхней части колонны, так как эта часть трубы обычно даже не сматывается с барабана. К еще одному технологическому решению можно отнести использование более тонкой стали в забойной части колонны, что уменьшает общий вес и повышает глубину проникновения трубы в скважины.

### Как SMARTaper® снижает риски?

Оптимизируя конструкцию трубы с точки зрения усталостной прочности, технология SMARTaper® снижает риски отказа колонны из-за усталостных разрушений в области угловых швов. Индустрия признает, что угловые швы представляют собой слабое звено в колтюбинговых колоннах. Поэтому минимизация рисков, связанных с преждевременным отказом, также повышает безопасность на буровых и надежность колтюбинга, выступающего в роли расходного материала.

### Краткие выводы о технологии SMARTaper®

- Позволяет оптимизировать конструкцию колонн гибких труб исходя из учета скважинных характеристик.
- Максимально увеличивает усталостную стойкость колтюбинга.
- Минимизирует эффект от ухудшения характеристик угловых швов.
- Снижает риски на буровой, укрепляя угловые швы.
- Минимизирует вес критических участков колонны.
- Позволяет использовать трубу в длинных горизонтальных стволах.

Источники нетрадиционных углеводородов породили всплеск буровой активности в Северной Америке, и эта тенденция, вероятно, распространится на другие части света, изобилующие сланцевыми ископаемыми. Благодаря новинке SMARTaper® от компании Global Tubing клиенты по всему миру имеют беспрецедентную возможность использовать новые технологии уже сегодня, при проведении стандартных операций. ☉

### How does SMARTaper® improve string design flexibility?

Now customers can optimize string design based on unique well characteristics. The wall thickness for each strip may be selected to account for fatigue and stress. Using SMARTaper® strips to transition between wall thicknesses increases the range of applications for which it can be used. For instance, quick transitions from thick wall to thin wall can be accomplished which will improve reach at the bottom of the hole.

### How does SMARTaper® improve portability and weight?

One common solution employed today is to use thinner material in the uphole section of the string since this typically does not come off the reel. Another solution is to use thinner material in the bottom hole section for reduced weight and increased reach.

### How does SMARTaper® mitigate risk?

By optimizing design for fatigue performance, SMARTaper® reduces the risk of failure at bias welds. The industry recognizes this is the weak point in coiled tubing, so minimizing risk of premature failure also improves well site safety and reliability of the consumable.

### SMARTaper® Summary

- Allows optimization of string design based on unique well characteristics.
- Maximizes coiled tubing fatigue life.
- Minimizes the effect of bias weld derating factors.
- Mitigates risk at the well site by strengthening the bias welds.
- Minimizes weight at critical locations.
- Enables extended horizontal reach.

Unconventional plays have created a boom in oil and gas activity in North America and the technology is likely to expand to other parts of the world where shale resources are abundant. Thanks to Global Tubing's new SMARTaper®, customers have unprecedented opportunity to utilize this new technology today for normal operations, while looking to the future of unconventional developments in the next generation. ☉