

УДК 622.245.7

**Р. Ю. МЕЛЬНИК, В. П. ЧЕРВИНСКИЙ****ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛОННЫ ГИБКИХ ТРУБ (КГТ)**

У статті наведено відомості про конструювання, виготовлення і експлуатацію гнучких труб, що застосовуються в колтюбінгових установках для капітального ремонту свердловин. Перелічені основні фізичні показники, які ведуть до руйнування або деформації виробу, фактори, що впливають на його характеристики і методи, що дозволяють запобігти передчасному виходу виробу з ладу. Пояснена залежність найбільш ймовірних руйнувань гнучких труб від характеру роботи з ними. Наведено вимоги по пружності, твердості нових гнучких труб в розмотаному стані. Детально розглянуто явище поздовжнього вигину гнучких труб в свердловині і наведені методи боротьби з ним. Описано особливості протікання процесу корозії і ерозії в гнучкій трубі.

**Ключові слова:** колона гнучких труб, колтюбінгові установки, капітальний ремонт свердловин, руйнування, вигин, міцність, корозія, ерозія.

В статье приведены сведения о конструировании, изготовлении и эксплуатации гибких труб, применяемых в колтюбинговых установках для капитального ремонта скважин. Перечислены основные физические показатели, которые ведут к разрушению или деформации изделия, факторы, влияющие на его прочностные характеристики и методы, позволяющие предотвратить преждевременный выход изделия из строя. Объяснена зависимость наиболее вероятных разрушений гибких труб от характера работы с ними. Приведены требования по упругости, твердости новых гибких труб в размотанном состоянии. Подробно рассмотрено явление продольного изгиба гибких труб в скважине и приведены методы борьбы с ним. Описаны особенности протекания процесса коррозии и эрозии в гибкой трубе.

**Ключевые слова:** колонна гибких труб, колтюбинговые установки, капитальный ремонт скважин, разрушение, изгиб, прочность, коррозия, эрозия.

The article contains information on the design, manufacture and operation of flexible pipes used in coiled tubing installations for workover of wells. The main physical indicators that lead to the destruction or deformation of the product, factors affecting its strength characteristics and methods that prevent premature failure of the product are listed. The dependence of the most probable damages of flexible pipes on the nature of working with them is explained. Requirements are given for the elasticity, hardness of new flexible pipes in the unwound state. The phenomenon of longitudinal bending of flexible pipes in a borehole is considered in detail, and methods for combating it are given. Specific features of the course of corrosion and erosion in a flexible tube are described.

**Keywords:** column of flexible pipes, coiled tubing units, overhaul of wells, destruction, bending, strength, corrosion, erosion.

**Введение.** В последние годы существенно увеличилось количество скважин, которые нуждаются в ремонте. Применение передвижных установок, оснащенных одной сплошной, непрерывной колонной гибких труб (КГТ) – это принципиально новый подход и одно из перспективных направлений сокращения продолжительности и повышения эффективности ремонта. Реализация схем работоспособного оборудования стала возможной только после решения двух технических задач: это создание колонны гибких труб, обладающих достаточно высокой циклической прочностью даже за пределами упругости, и промышленного оборудования, обеспечивающего спуск и подъем такой колонны в скважину, а также выполнение всех необходимых технологических операций. В результате решения этих задач появилась новая технология проведения буровых работ и подземного ремонта скважин на основе использования колонны непрерывных гибких труб. Причем имеется в виду не новая технология выполнения спускоподъемных операций, а всего комплекса работ. К ним относятся подготовка оборудования, выполнение операций ремонта или бурения скважины и свертывание комплекса оборудования. За рубежом с начала 1960-х годов активно применяется технология так называемой "непрерывной" или "свернутой" трубы – колтюбинга ("труба, наматываемая на барабан" – *Coiled Tubing*), как для первоначального запуска скважин, так и для проведения ремонтов. В СССР значительно позже, в конце 1970-х – начале 1980-х гг., была предпринята попытка применить колтюбинг. Но используемые для этого трубы

Челябинского завода оказались некачественными. Они плохо наматывались на барабан, кроме того, после 10–12 операций в них образовывались свищи. Лишь в середине 1990-х российские нефтяные компании смогли внедрить технологию колтюбинга, но на базе импортной техники – качественных отечественных аналогов нефтяники ждут до сих пор. Средняя стоимость колтюбинг-ремонта, несмотря на применение импортной техники, почти в три раза ниже стоимости традиционного ремонта.

**Особенности изготовления.** Для гибких труб применяется большей частью сталь А606, относительно чистая; плоские полоски формируются в непрерывную трубу. Соединения делаются на полосках через каждые 3500–5000 футов (1067–1524 м) с наклоном 15–45°. Каждый сварочный шов проверяют и подвергают чистовой обработке. Все соединения делаются до начала изготовления трубы. До сваривания гибкая труба маркируется: ставится ее номер и дата изготовления. Маркировка включает номер намотки, наружный диаметр, марку, толщину стенки или толщину колонны (разного диаметра), длину и расположение наклонных сварных швов, наличие или отсутствие швов встык. Все мотки гибких труб маркированы своим номером по дате изготовления.

В наличии имеются гибкие трубы диаметром от 1" (25,4 мм) до 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" (88,9 мм), хотя в настоящее время наиболее применимы трубы диаметром 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>" (31,75 мм) и 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" (38,1 мм). Трубы большего диаметра 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub>"–2<sup>3</sup>/<sub>8</sub>" (44,45–60,3 мм) обычно применяются в море или на Северном Склоне, а трубы 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub>"–3<sup>1</sup>/<sub>2</sub>"

(44,45–88,9 мм) используют как продуктивные постоянные трубы, расходомеры, приемные трубопроводы и колонны для глушения скважин.

Имеющиеся гибкие трубы обладают различным пределом текучести и даже могут быть изготовлены из титана, если цена их будет конкурентоспособна. В зависимости от метода формирования трубы в ней имеется валик или соединение внахлестку. Это соединение, имеющее высоту  $1/8$ "– $3/16$ " (3,2–4,76 мм), может стать препятствием для применения некоторых приспособлений.

**Эффективность.** Стоимость гибких труб в полтора–два раза превосходит стоимость обычных соединяемых труб той же длины. Экономия, если она есть, происходит вследствие быстрого монтажа и того, что для большинства операций не нужна вышка. Гибкие трубы применяются для:

- очистки скважин;
- ловильных операций;
- каротажа;

- в качестве трубопроводов;
- бурения;
- подача флюида в определенное место;
- перемещения перфоратора;
- в качестве постоянной колонны труб;
- спуска пакеров;
- как расходомеры.

**Разрушение.** Разрушения гибких труб происходят вследствие множества причин и имеют тенденцию к снижению благодаря более тщательному изготовлению и руководству по применению. Характер разрушения продолжает сдвигаться от разрушений вследствие дефектов изготовления к разрушению вследствие потери устойчивости. Горизонтальные скважины, скважины с высоким давлением а также сверх глубокие, налагают на гибкие трубы особые требования. В таблице 1 некоторые из этих требований отмечены, как наиболее вероятные механизмы разрушения.

Таблица 1 – Зависимость наиболее вероятных разрушений ГТ от характера работы с ними

Характер работы	Наиболее вероятное разрушение
Глубокие скважины	Растяжение, разрушение
Высокое давление	Разрушение, прорыв, усталость в зонах цикличности
Горизонтальные	Изгибание, усталость
Вымывание песка	Прорыв, образование мостов в кольцевом пространстве, пробки
Кислотная обработка	Прорыв, коррозия
Разрыв пласта	Прорыв
Обратная циркуляция	Разрушение, мостики в ГТ
Размещение приспособлений	Растяжение, усталость в зонах цикличности, изгибание
Каротаж	Растяжение, усталость в зонах цикличности, изгибание

Предотвратить большую часть разрушений можно, если тщательно фиксировать случаи применения КГТ и напряжения, возникающие при этом применении.

**Предел текучести.** Предел текучести новой ГТ определяется либо растягивающими напряжениями, при которых растяжение на базовой длине образца дает смещение 0,2 %, либо растягивающие напряжения, требующееся для получения растяжения

под нагрузкой 0,5 % для марок с пределом прочности от 662,4 до 690 МПа.

**Предел прочности.** Предел прочности – это растягивающее напряжение соответствующее максимальной нагрузке при испытании на растяжение базового отрезка, отвечающее спецификации изготовителя или требованиям таблицы 2.

Таблица 2 – Требования по упругости, твердости новых ГТ в размотанном состоянии

Марка	Минимальный предел текучести, МПа	Минимальный предел прочности на растяжение, МПа	Максимальная твердость, HRC
СТ 55	379,5	483	22
СТ 70	483	552	22
СТ 80	552	621	22
СТ 90	621	690	22
СТ 100	690	724,5	22

**Продольный изгиб.** Когда длинная, тонкая труба помещена в условия сжатия, труба изгибается. Гибкая труба может изгибаться, когда тормозящие силы трения (между наружной поверхностью трубы и стенкой обсадной колонны или скважины) превысят силу, необходимую для изгиба трубы. Вначале происходит синусоидальное изгибание, затем геликоидальное. Формирование синусоиды вероятно имеет место в первой точке торможения

инструментальной колонны, когда длинная, тонкая, неподдерживаемая труба удерживается противоположными силами трения в точке и инжекторе. В это время скважинный инструмент (или конец трубы) может остановиться, но инжектор все еще толкает трубу в скважину. Индикатор веса должен зарегистрировать изменение. Труба теперь будет прикасаться к стене в нескольких местах и трение будет увеличиваться. Труба в конечном счете

образует геликоидальную или пружинно-подобную спираль. Нагрузки проталкивания на поверхности резко возрастут и гибкая труба, как говорят, замкнется. Если инжектор не остановить, труба может разрушиться срезающими усилиями и затем сдвинуться. Примеры синусоидального и геликоидального изгиба приведены на рис. 1.

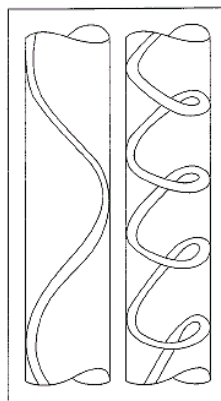


Рис. 1 – Гибкая труба, которая может изгибаться по синусоиде или геликоидально, если она подвергается избыточным сжимающим нагрузкам внутри скважины или обсадной колонны

Намного больше проблем с изгибанием возникает в необсаженных скважинах чем в при наличии обсадных колонн (результат различия в торможении). Геликоидальные изгибания легче возникает в скважинах большего диаметра.

Увеличение жесткости трубы или ее устойчивости за счет большей прочности или более тяжелой стенки или создания в ней давление (если конец ее закрытый) должно уменьшить склонность к изгибу.

Большинство компаний, обслуживающих ГТ, располагают компьютерными моделями, которые помогают предсказать работу ГТ в наклонных скважинах. Изгибание непосредственно зависит от размеров и жесткости ГТ, торможение стенкой, наклона скважины и коэффициента трения вдоль стенки, где соприкасаются ГТ и ствол скважины.

Изгибание увеличивается, когда возрастает вес забойного оборудования. Во многих случаях вес забойного оборудования следует уменьшать на участках с высоким торможением стенок.

Моделирование предполагаемого изгиба является общим руководством, а не абсолютной определенностью. Основными неизвестными являются изменение трения по длине скважины. Установка направляющих делает введение ГТ более легким.

**Коррозия и эрозия.** Хотя гибкие трубы изготовлены из низкоуглеродистой стали, малое количество дефектов в системе и прочность сварных соединений обычно дает высококачественный прочный материал. Коррозия, однако, может ослабить как собственно трубу, так и сварной шов и привести к преждевременному разрушению. Коррозия в гибких трубах может принимать различную форму. Защитить колонну гибких труб от коррозии можно применив подходящий ингибитор для этого оборудования.

После того, как колонна из гибких труб подсоединена, ее следует обработать покрывая места задиров и соскобов свежей пленкой ингибитора. Такая пленка снижает коррозию более чем на порядок величины по сравнению с незащищенной стальной трубой.

Эрозия гибкой трубы под воздействием твердых частиц, капель и пузырьков отличается от эрозии обычных труб. Критическая скорость потока для предотвращения коррозии жидкостью без твердых частиц будет:

$$V=c/\rho^{0,5} \quad (1)$$

где  $V$  – максимальная «безопасная» скорость

$\rho$  – плотность жидкости

$c$  – константа, изменяется от 25 для вентилях до более чем 300 для труб из «супер – Ni» сплавов.

Предполагается, что для гибких труб  $c = 150$ .

Если твердые частицы имеются, предсказать что-либо трудно. Зонами риска в этом случае становятся тройники и другие препятствия и изгибы, там где падает давление ступенчато.

Иногда гибкие трубы демонстрируют меньшую эрозию, чем соединяемые, поскольку в них отсутствуют соединения.

**Пластичность.** Пластичность ГТ – это удлинение в % отрезка длиной 2 " (50,8 мм) во время испытаний на растяжение. Минимальное удлинение, требуемое для каждой марки стали, веса, размера (наружный диаметр) и толщины стенки, находится в соответствии со спецификациями изготовителя.

**Твердость.** Твердость ГТ должна быть такой, чтобы снизить растрескивание под действием напряжений в сульфидсодержащей среде. Максимальная допустимая твердость составляет HRC 22 для стандартных марок стали для ГТ.

**Вывод.** Приведенный анализ показывает, что к производству и эксплуатации колонн гибких труб (КГТ) предъявляются очень высокие требования. Это связано с тем, что КГТ является основным элементом колтюбинговых установок и тщательность следования установленных норм регламентирует дальнейшее качество проведения ремонтных работ. Следует отметить, что выполнение указанных мероприятий обеспечивает не только экономическую эффективность, но и соответствие нормам техники безопасности, что особенно важно при работе с незаглушенными скважинами.

#### Список литературы

1. Червинский В. П. Перший досвід застосування колтюбингової техніки в Україні / В. П. Червинський, В. Г. Филь, А. В. Яковлев // Нафтова і газова промисловість. – 2004. – № 3. – С. 23–25.
2. Гвоздев Б. П. Эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений / Б. П. Гвоздев, А. И. Гриценко, А. Е. Корнилов. – М.: Недра, 1988. – 575 с.
3. Молчанов А. Г. Подземный ремонт и бурение скважин с применением гибких труб / А. Г. Молчанов, С. М. Вайнштейн, В. И. Некрасов, В. И. Чернобровкин. – М.: Академия горных наук, 2000. – 145 с.
4. Червинский В. П. Основы ремонту нефтегазового оборудования / В. П. Червинский. – Х.: НТУ «ХПИ», 2010. – 291 с.
5. Ценципер А. И. Основы эксплуатации и ремонта нефтегазовых скважин / А. И. Ценципер. – Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – 443 с.

- |  |  |
|--|--|
| <p>6. Яремійчук Р. С. Англо-український нафтогазовий словник / Р. С. Яремійчук, Л. М. Середницький, З. П. Осінчук – К.: Українська книга, 1998. – 544 с.</p> <p>7. Буховенко Э. І. Нафтопромислове обладнання / Э. І. Буховенко. – М.: Недра, 1996. – 420 с.</p> | <p>3. Molchanov, A. G., et al. <i>Podzemnyj remont i burenie skvazhin s primeneniem gibkikh trub</i>. Moscow: Academy of Mining Sciences, 2000. Print.</p> <p>4. Chervynskyy, V. P. <i>Osnovy` remontu naftogazovogo obladnannya</i>. Kharkov: NTU "KhPI", 2010. Print.</p> <p>5. Tsentsyper, A. I. <i>Osnovy jekspluatatsii i remonta neftegazovykh skvazhin</i>. Kharkov: NTU "KhPI", 2016. Print.</p> <p>6. Yaremichyuk, R. S., L. M. Serednitsky and Z. P. Osinchuk. <i>Anglo-ukrains'kij naftogazovij slovnik</i>. Kyiv: Ukrainian Book, 1998. Print.</p> <p>7. Buhovenko, E. I. <i>Naftopromy`slove obladnannya</i>. Moscow: Nedra, 1996. Print.</p> |
|--|--|

## References (transliterated)

1. Chervynskyy, V. P., V. G. Phil' and A. V. Yakovlev "Pershy`j dosvid zastosuvannya kolyubingovoyi teknyky` v Ukraini." *Naftogazova promy`slovisť*. Kyiv. No. 3. 2004. 23–25. Print.
2. Gvozdev, B. P., A. I. Grischenko and A. E. Kornilov. *Jekspluatatsija gazovyh i gazokondensatnyh mestorozhdenij*. Moscow: Nedra, 1988. Print.

Поступила (received) 18.04.2017

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Особенности использования колонны гибких труб (КГТ) / Р. Ю. Мельник, В. П. Червинский, //**  
Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 42 (948). – С. 67–70. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2411–3441.

**Особенности использования колонны гибких труб (КГТ) / Р. Ю. Мельник, В. П. Червинский, //**  
Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 42 (948). – С. 67–70. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2411–3441.

**Features of using the flexible pipe column (FPC) / R. Y. Melnyk, V. P. Czerwinski, //** Bulletin of NTU "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydrounits. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 42 (948). – P. 67–70. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2411–3441.

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Мельник Роман Юрійович** – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (050) 650–84–16; e-mail: iramon47@mail.ru.

**Мельник Роман Юрьевич** – студент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; тел.: (050) 650–84–16; e-mail: iramon47@mail.ru.

**Melnyk Roman Yurevich** – student, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"; tel.: (050) 650–84–16; e-mail: iramon47@mail.ru.

**Червінський Володимир Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічного інституту», доцент кафедри видобутку нафти, газу і конденсату; тел.: (050) 634–10–22; e-mail: chervinpench@ukr.net.

**Червинский Владимир Петрович** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры добычи нефти, газа и конденсата; тел.: (050) 634–10–22; e-mail: chervinpench@ukr.net.

**Chervinskiy Vladimir Petrovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of oil, gas and condensate; tel.: (050) 634–10–22; e-mail: chervinpench@ukr.net