

УДК 620.178.16:621.643.414

Е.С. Юшин¹, e-mail: EvgeniyYushin@mail.ru; И.Ю. Быков¹, e-mail: ibykov@ugtu.net

¹ ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет» (Ухта, Россия).

Разработка стенда для имитационного механического моделирования процессов деформирования резьбовых соединений насосно-компрессорных труб в агрессивных средах

Показано, что при добыче нефти и газа, а также при ремонте скважин насосно-компрессорные трубы (НКТ) подвергаются деструктивному воздействию сероводородсодержащих сред, снижающих основные механические характеристики металла лифтовых колонн. Комплексное действие процессов многократного деформирования резьбовых поверхностей ниппеля и муфты НКТ в ходе спускоподъемных операций и воздействие агрессивных сред в зоне их локального контакта способствуют ускоренному разрушению оборудования. Этот деструктивный эффект требует мониторинга при эксплуатации, а также поиска способов и методов оценки повышения работоспособности НКТ при деформировании коррозионно-механического характера.

Анализ существующих на сегодняшний день конструкций испытательных стендов для проведения комплексных исследований процессов деформирования резьбовых соединений нефтепромысловых труб в агрессивных средах показал, что эти механизмы весьма металлоемки. В большинстве случаев исследования проводятся в реальных производственных условиях на скважинах и требуют существенных производственных затрат на проведение работ.

В статье рассматриваются основные эксплуатационные факторы, влияющие на работоспособность резьбовых соединений НКТ в нефтегазовых скважинах. Для обоснованного моделирования основных параметров при ускоренных ресурсных испытаниях в агрессивных средах производится их оценка по величине и характеру действия. В настоящей статье также приводятся основные конструктивные элементы предложенного технического решения, позволяющие практически реализовать запатентованный механизм для проведения актуальных разнонаправленных работ по исследованию работоспособности НКТ при многократном свинчивании-развинчивании в сероводородсодержащей среде. Описываются особенности и характеристики материалов элементов, приводятся параметры испытательных образцов НКТ.

Ключевые слова: стенд, механическое моделирование, свинчивание-развинчивание, насосно-компрессорные трубы, резьбовые соединения, деформирование, изнашивание, сероводородсодержащая среда.

.....

Е.С. Юшин¹, e-mail: EvgeniyYushin@mail.ru; И.Ю. Быков¹, e-mail: ibykov@ugtu.net

¹ Ukhta State Technical University (Ukhta, Russia).

Stand Development for the Simulation of the Mechanical Modeling of Deformation Processes of Threaded Connections of Tubing in Aggressive Environments

It is shown that the production of oil and gas as well as workover tubing exposed to the destructive effects of hydrogen sulfide environments, reducing the basic mechanical characteristics of metal tubing. Integrated action processes multiple deformation threaded surfaces of the pin and box tubing during tripping operations and aggressive environments in their local contact zone contribute to the accelerated destruction of the equipment. This destructive effect requires monitoring during the operation as well as research methods and evaluation methods of increasing the efficiency of tubing during the deformation of corrosion-mechanical nature.

Analysis of test benches designs available today for conducting comprehensive research of deformation processes of threaded connections of oilfield pipes in aggressive environments has shown that these mechanisms are very metal content. In most cases, studies are conducted under real production conditions at the wells, and require significant production costs to carry out works.

The article reviews the main operational factors affecting the performance of threaded connections of tubing in oil and gas wells. For a reasonable simulation of the basic parameters for accelerated life tests in aggressive environments made their assessment on the magnitude and nature of the action.

This article also presents the main design elements of the proposed technical solutions to practically implement the patented mechanism for current divergent studies of the performance of tubing in multiple screwing and unscrewing in hydrogen sulfide environments. The features and characteristics of the material elements are the parameters of test samples of tubing.

Keywords: stand, mechanical modeling, screwing and unscrewing, tubing, threaded connection, deformation, wear, hydrogen sulfide environment.

Долговечная и высоконадежная работа колонн НКТ в нефтегазовых скважинах зависит в основном от режима нагружения, степени воздействия на металл труб и агрессивности добываемого флюида. Колонны НКТ при эксплуатации подвержены вредному воздействию различных химических веществ и многокомпонентных растворов, асфальтосмолопарафиновых отложений, солей, а также высокоминерализованных пластовых вод и добываемых высокосернистых нефтей.

Многолетний опыт эксплуатации нефтедобывающих скважин показывает, что рост числа аварий характерен для скважин, обводненность которых превышает 80–90 %. Такие среды могут содержать значительное количество сероводорода H_2S , клеток сульфатвосстанавливающих (СВВ) и тионовых бактерий, с действием которых связывается до 80 % коррозионных повреждений НКТ. В процессе жизнедеятельности клетки СВВ превращают сульфаты и сульфиты в сероводород H_2S , подкисляют минерализованную пластовую среду и способствуют повышению ее коррозионной активности.

При статическом нагружении НКТ в сероводородсодержащих средах проявляются процессы водородного абсорбционного охрупчивания (водородной усталости), а также сульфидного растрескивания металла лифтовых колонн при наводороживании, ведущие к снижению его прочности во времени. Наводороживание стали НКТ приводит к изменению механических характери-

стик пластичности и прочности, таких как относительное удлинение и сужение, пределы текучести и кратковременной прочности, ударная вязкость [1, 2].

Резьбовые соединения НКТ в процессе эксплуатации воспринимают различные нагрузки и активно изнашиваются, что приводит к потере герметичности лифтовой колонны и снижению ее несущей

способности. Достижение предельного состояния резьбовых соединений колонн НКТ в процессе эксплуатации обуславливается прежде всего деформацией износа сочленяемых поверхностей резьб ниппеля и муфты.

При эксплуатации НКТ отбраковка выполняется в основном по величине натяга резьбы трубы и муфты. И как показывает промысловый опыт, главной

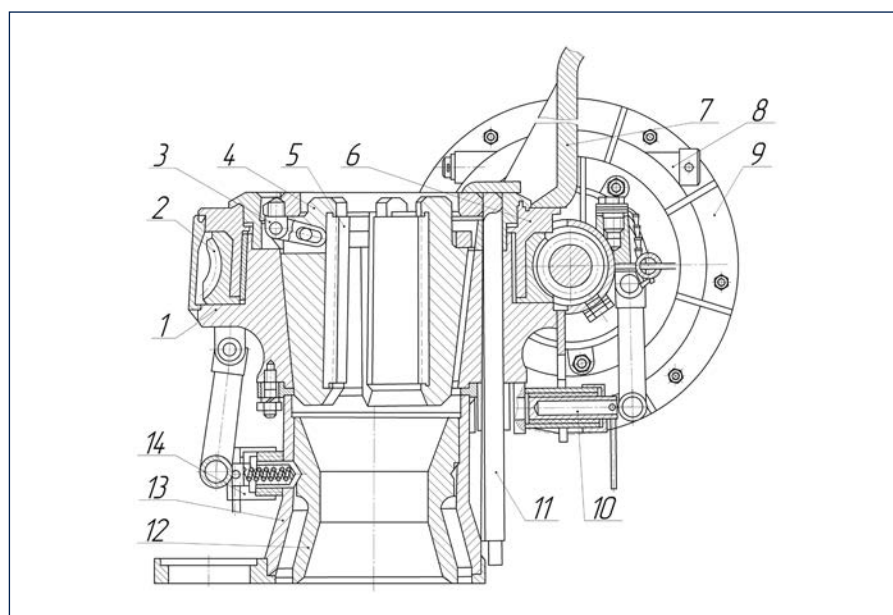


Рис. 1. Ключ-автомат АПР2-ВБМ для подземного ремонта скважин:

1 – корпус ключа; 2 – червячное колесо; 3 – клиновья подвеска; 4 – корпус клина; 5 – плашка; 6 – опорный фланец; 7 – водило; 8 – вал вилки включения маховика; 9 – электроинерционный привод; 10 – ось балансира; 11 – направление клиновья подвески; 12 – центратор; 13 – пьедестал центратора; 14 – фиксатор центратора

Fig. 1. APR2-VBM automatic tong for well servicing:

1 – tong casing; 2 – worm wheel; 3 – slip hanger; 4 – slip bowl; 5 – ram; 6 – bearing flange; 7 – drive carrier; 8 – flywheel actuation fork shaft; 9 – electrical inertia drive; 10 – balance shaft axis; 11 – slip hanger orientation; 12 – centralizer; 13 – centralizer pedestal; 14 – centralizer holder

Ссылка для цитирования (for citation):

Юшин Е.С., Быков И.Ю. Разработка стенда для имитационного механического моделирования процессов деформирования резьбовых соединений насосно-компрессорных труб в агрессивных средах // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 6. С. 30–35.

Yushin E.S., Bykov I.Y. Stand Development for the Simulation of the Mechanical Modeling of Deformation Processes of Threaded Connections of Tubing in Aggressive Environments. Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2017, No. 6, P. 30–35. (In Russian)

причиной ускоренного износа и разрушения трубных резьбовых соединений при выполнении подземных ремонтов скважин наряду с металлургическим фактором является нарушение технологии ведения спускоподъемных операций (СПО) колонны.

В ЧАСТНОСТИ, К ТАКИМ ОСНОВНЫМ ПРИЧИНАМ МОЖНО ОТНЕСТИ:

- несоблюдение соосности резьб ниппеля и муфты НКТ при свинчивании (отсутствие центра мачты);
 - недостаточное количество смазочного материала в месте контакта трубных элементов или его полное отсутствие;
 - незачищенные сопрягаемые поверхности резьб от абразива при проведении СПО;
 - докрепление резьбового соединения при свинчивании с недопустимо превышенным моментом;
 - раскрепление соединения при схватывании резьбы с повышенным сдвигающим моментом (при этом существует вероятность «неотворота» НКТ, развинчиваемых, как правило, путем кратковременного «снятия» сил трения приложением ударных нагрузок);
 - превышение осевых нагрузок при расхаживании прихваченной лифтовой колонны в случае возникновения аварии.
- Соблюдение вышеуказанных технологических предписаний при осуществлении СПО снижает вероятность разрушения резьбовых соединений НКТ на начальных стадиях эксплуатации, однако многократность механического процесса при совместном действии агрессивных газонасыщенных и коррозионно-абразивных сред не менее активно способствует интенсивному выкрашиванию металла сочленяемых трущихся резьбовых поверхностей ниппеля и муфты и, как следствие, раннему достижению предельного состояния.
- Одним из приоритетных направлений развития в области рациональной и эффективной технологии эксплуатации НКТ является исследование работы резьбовых соединений «ниппель – муфта» при многократном свинчивании-развинчивании. Стоит отметить, что значительно упрощают такие научно-исследовательские изыскания модельные стендовые испытания, не

Основная техническая характеристика ключа-автомата АПР2-ВБМ

Technical characteristics of the APR2-VBM automatic tong

Параметр Parameter	Значение параметра Value
Максимальный крутящий момент, кН·м Maximum torque, kN·m	4,5
Условные диаметры захватываемых НКТ, мм: Nominal diameters of pipes, spinned-up and uncoupled by the tongs:	
• гладких smooth	48; 60; 73; 89
• высаженных upset	48В; 60В; 73В; 89В
Потребляемая мощность, кВт, не более Maximum power consumption, kW	3,0
Частота вращения водила, с ⁻¹ (об/мин) Drive carrier rotation frequency, s ⁻¹ (rpm)	0,85 (51)
Передаточное число червячного редуктора Worm gear reduction rate	28
Грузоподъемность спайдера, т Spider load capacity, t	80
Количество вариантов набора маховиков Combinations of flywheels	4
Привод ключа Tong's drive	Электрический инерционный взрывобезопасный с питанием от промышленной сети Electric, intertidal and explosion proof, field grid power feed
Двигатель привода Driving motor	Электродвигатель АИМ100 S4 У2,5 n = 1430 об/мин, напряжение 380 В Electric motor АИМ100 S4 У2,5 n = 1430 rpm, voltage: 380 V
Управление приводом Drive control	Кнопочный пост и магнитный пускатель Button control station and magnetic starter

требующие наличия полномасштабного металлоемкого промышленного оборудования и каких-либо дополнительных производственных затрат. Известно, что при комбинировании теории подобия при моделировании с выводами, полученными в ходе проведения экспериментов или математическим путем из уравнений движения, можно добиться существенных научных и практических результатов. В постановке опытов таких исследовательских работ важно правильно выбирать параметры, их число должно быть минимальным, и вместе с тем взятые параметры должны отражать в наиболее удобной форме основные эффекты. В связи с изложенным исследование изнашивания соединительных элементов лифтовых колонн в сероводородсодержащих средах весьма актуальны и имеют научную и практическую зна-

чимость. Однако аналитический обзор показывает, что существующие экспериментальные стенды [3–6] по оценке изнашивания резьб нефтепромысловых труб достаточно металлоемки и в некоторых случаях требуют существенных затрат на проведение работ. Основой проектируемого экспериментального стенда [7, 8] для оценки работоспособности резьбовых соединений НКТ в сероводородсодержащих средах является ключ-автомат АПР2-ВБМ (рис. 1), предназначенный для свинчивания-развинчивания НКТ при подземном ремонте скважин. Основная техническая характеристика ключа-автомата АПР2-ВБМ представлена в таблице. Механизм оснащен инерционным устройством реверсивного привода, позволяющим увеличить момент на водиле при развинчивании НКТ, а также при свинчивании НКТ большого диаметра.

ПРОЕКТИРУЕМЫЙ НА БАЗЕ КЛЮЧА АР2-ВБМ СТЕНД ПОЗВОЛЯЕТ ИССЛЕДОВАТЬ:

- работоспособность резьбовых соединений НКТ в коррозионных средах;
- эффективность упрочняющих резьбовых покрытий;
- смазочные композиции для повышения ресурса резьб НКТ;
- эффективность методов закалки резьб НКТ;
- воздействие физических полей на работоспособность резьб НКТ.

К исследованию работоспособности в сероводородсодержащих средах приняты образцы резьбовых соединений НКТ с треугольным профилем условным диаметром 73,0 мм и толщиной стенки 5,5 мм (рис. 2).

Технический результат, выраженный представленной конструкцией, заключается в возможности проведения модельных испытаний в режиме многократного свинчивания-развинчивания образцов резьбовых соединений «ниппель – муфта» НКТ в коррозионно-абразивных средах с возможностью одновременного создания осевой нагрузки на резьбу.

Моменты свинчивания и развинчивания, крепления и раскрепления НКТ регламентируются общими рекомендуемыми значениями согласно нормативным документам, и при использовании автоматических ключей для работы с НКТ этот эксплуатационный параметр можно воспроизвести и соблюсти в конструкции проектируемого стенда.

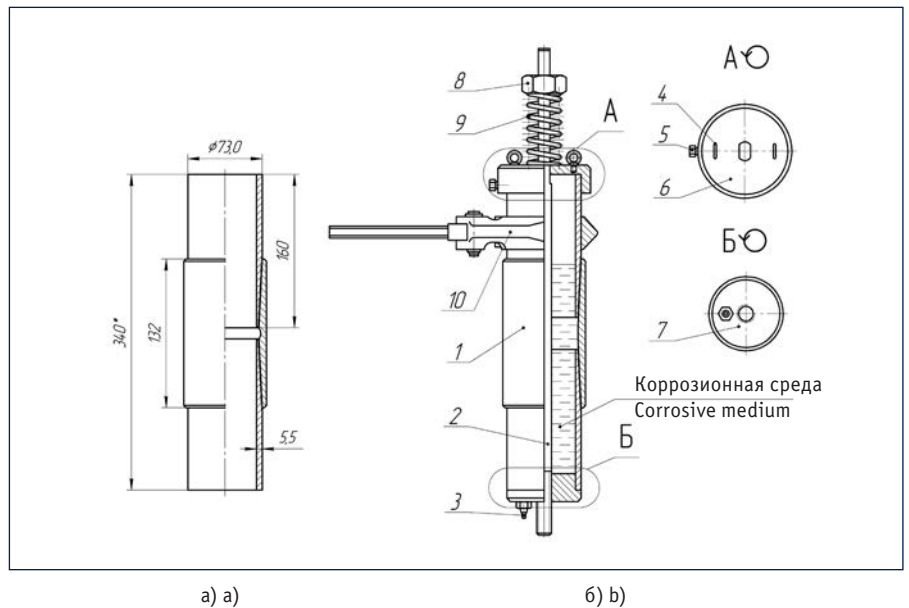


Рис. 2. Испытательный образец резьбового соединения гладких неравнопрочных НКТ условным диаметром 73,0 мм и с толщиной стенки 5,5 мм:

а) геометрические параметры образца; б) образец в сборе при закреплении муфты в клиновом захвате ключа АР2-ВБМ:

- 1 – образец НКТ 73,0 x 5,5; 2 – центральный стержень; 3 – штуцер; 4 – рым-болт; 5 – фиксатор; 6 – опорная крышка; 7 – донная заглушка; 8 – нажимная гайка; 9 – силовая пружина; 10 – трубный ключ КТГУ 73

Fig. 2. test sample of thread connection of non-uniform strength plain tubing with the nominal diameter of 73.0 mm and the wall thickness of 5.5 mm:

a) sample dimensions; b) assembled sample during fixing of the coupling in the casing spider of the APR2-VBM tong:

- 1 – 73.0 x 5.5 tubing sample; 2 – central rod; 3 – fitting; 4 – eye-bolt; 5 – lock; 6 – bearing cap; 7 – bottom plug; 8 – packing nut; 9 – power spring; 10 – pipe wrench KTGU 73

Известно, что в процессе наращивания колонны свинчиваемая НКТ находится в подвешенном состоянии, а распределение осевого усилия на резьбу при стыковке, как правило, регулируется

степенью сжатия пружины крюка (нагрузка на муфту составляет примерно 10 % от массы трубы). Далее производятся центровка в целях соблюдения соосности и последующее свинчивание



Реагенты для обогащения, водоподготовки и водоочистки Kemira (Финляндия)

- флокулянты Superflok™
- пеногасители KemFoamX™
- ингибиторы солеотложения KemGuard™
- органосвязующие для брикетирования и окомкования железного концентрата KemPel™

Растворители Escaid™ ExxonMobil Chemical (США)

Серия растворителей специального назначения, используемых при производстве буровых растворов, а также в экстракционно-электролизной технологии производства меди, никеля, кобальта и урана в качестве экстрагента.

Склады и офисы по всей России:

Санкт-Петербург, Москва, Екатеринбург,

Ростов-на-Дону, Нижний Новгород, Новосибирск

Санкт-Петербург

(812) 602-24-20

www.telko.com/ru

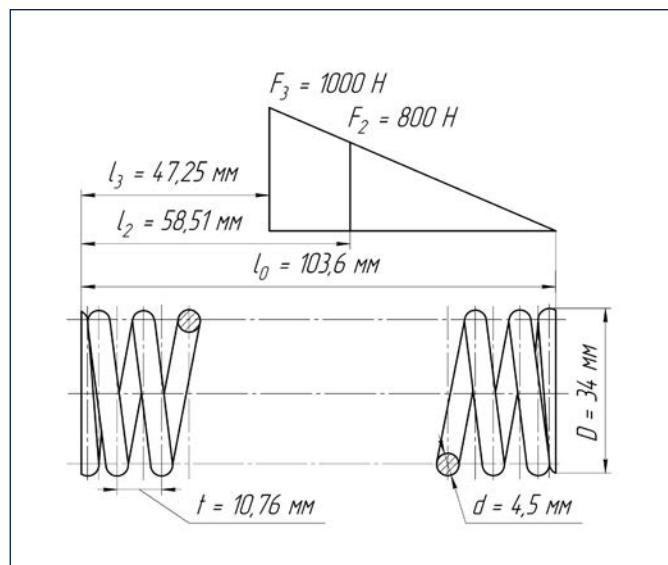


Рис. 3. Характеристика силовой пружины для создания осевой нагрузки на образец НКТ 73,0 x 5,5

Fig. 3. The parameters of the power spring for creating axial stress on tubing pipe sample of 73.0 x 5.5

с осевым усилием при полной разгрузке на муфту (масса всей НКТ). При развинчивании же резьбового соединения создается произвольное осевое усилие (также составляющее примерно 10 % от массы НКТ), направленное в противоположную сторону и создающее натяг. Из этого следует, что в процессе модельных испытаний необходимо создать максимальную осевую нагрузку от массы свинчиваемых НКТ (при проектировании стенда принята осевая имитируемая нагрузка от массы одной НКТ, так называемой однострубки). К примеру, для гладкой НКТ с условным диаметром 73,0 мм, толщиной стенки 5,5 мм и длиной 10 м (масса одного погонного метра составляет 9,2 кг) этот показатель в приближении должен быть равен 900 Н. Представленным требованиям отвечает силовая пружина 1086-0904 ГОСТ 13772-86 сжатия № 75 (рис. 3) со следующими параметрами:

- диаметр витка $d = 4,5$ мм;
- наружный диаметр $D = 34$ мм;
- длина пружины в свободном состоянии $l_0 = 103,6$ мм;

- шаг пружины в свободном состоянии $t = 10,76$ мм;
- длина пружины при рабочей деформации $l_2 = 58,51$ мм;
- сила при рабочей деформации $F_2 = 800$ Н;
- длина пружины при максимальной деформации $l_3 = 47,25$ мм;
- сила при максимальной деформации $F_3 = 1000$ Н.

Представленная силовая пружина соответствует требованиям как по необходимым нагрузочным характеристикам, так и по соображениям обеспечения диаметрального размера под поверхность опорной крышки 6 (рис. 2) экспериментального стенда. Также исходя из внутреннего диаметра d силовой пружины 9 и размеров испытательного образца НКТ можно определить и размерные геометрические характеристики центрального стержня 2, опорной крышки 6 и донной заглушки 7. Основные проектируемые элементы стенда для испытания образцов резьбовых соединений гладких НКТ 73,0 x 5,5 представлены на рис. 4.

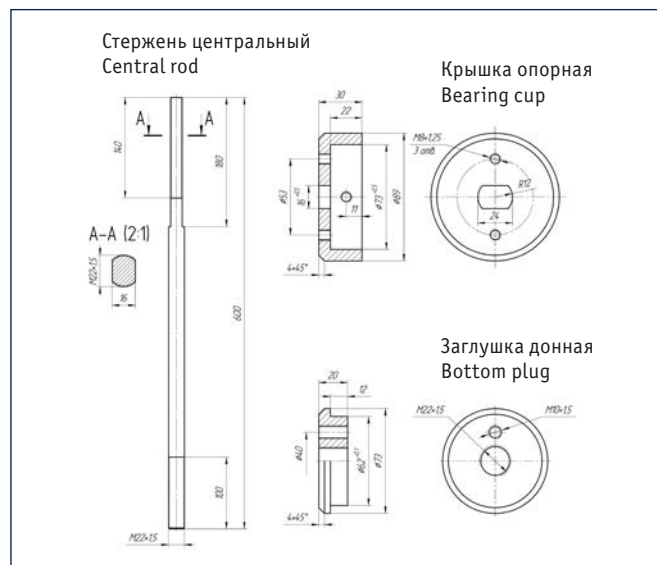


Рис. 4. Основные проектируемые элементы стенда для испытания образцов резьбовых соединений гладких НКТ 73,0 x 5,5

Fig. 4. Main designed elements of test bench for samples of thread connection of 73 x 5.5 plain tubing pipes

Центральный стержень и донная заглушка выполняются из коррозионно-стойких материалов для обеспечения их сопротивляемости деструктивному действию сероводородсодержащих сред, заполняющих внутреннюю полость испытуемого образца НКТ. Для герметизации сопряжения донной заглушки с внутренней поверхностью образца НКТ в дополнение могут быть использованы уплотнительные материалы.

Таким образом, подобраны элементы экспериментального стенда для его дальнейшего создания и проведения исследований по оценке работоспособности резьбовых соединений «нипель – муфта» при свинчивании-развинчивании в сероводородсодержащих средах. Это позволяет осуществить модельные исследования процесса ускоренного изнашивания резьб НКТ без использования громоздкого и металлоемкого оборудования в условиях, максимально приближенных к промышленным, а также без существенных производственных затрат.

Литература:

1. Протасов В.Н. Теория и практика применения полимерных покрытий в оборудовании и сооружениях нефтегазовой отрасли: Монография. М.: Недра, 2007. 374 с.
2. Протасов В.Н. Физико-химическая механика материалов оборудования и сооружений нефтегазовой отрасли: Учебник для вузов. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. 204 с.

3. Семин В.И. Современные методы проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента для строительства скважин: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.15, 05.02.13. М.: ВНИИБТ, 2005. 400 с.
4. Кузьминых Д.В. Совершенствование методов повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Ухта: УГТУ, 2011. 128 с.
5. Миндиярова Н.И. Снижение работы трения в резьбовых соединениях насосно-компрессорных труб направленным акустическим воздействием: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Альметьевск: АГНИ, 2009. 140 с.
6. Вадигуллин А.Д. Разработка методов и средств для совершенствования процесса развинчивания насосно-компрессорных труб: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Альметьевск: АГНИ, 2014. 157 с.
7. Быков И.Ю., Юшин Е.С. Стенд для испытания трубных резьбовых соединений при свинчивании-развинчивании в коррозионных и абразивных средах // Нефтяное хозяйство. 2014. № 8. С. 98–99.
8. Патент № 2555494 РФ, МПК G01N3/56. Стенд для испытания трубных резьбовых соединений при свинчивании-развинчивании в коррозионной среде / И.Ю. Быков, Е.С. Юшин. № 2013138544/28; заявитель и патентообладатель – Ухтинский гос. техн. ун-т; заявл. 19.08.2013; опубл. 10.07.2015.

References:

1. Protasov V.N. Theory and practice of application of polymer coatings in equipment and facilities of oil and gas industry – Monograph. Moscow, Nedra, 2007, 374 pp. (In Russian)
2. Protasov V.N. Physico-chemical mechanics of materials and structures of oil and gas equipment industry – Textbook for High Schools. Moscow, Russian State University of Oil and Gas named after Gubkin, 2011, 204 pp. (In Russian)
3. Semin V.I. Modern methods of designing threaded connections oil and gas pipes for construction of wells – doctoral diss. Moscow, VNIIBT, 2005, 400 pp. (In Russian)
4. Kuzminykh D.V. Improving the methods of increasing the durability of the lock of the drill string connection with repeated screwing – PhD diss. Ukhta, Ukhta State Technical University, 2011, 128 pp. (In Russian)
5. Mindiyarova N.I. Reducing the work of friction in threaded connections of tubing directional acoustic impact – PhD diss. Almeteyvsk, Almeteyvsk State Oil Institute, 2009, 140 pp. (In Russian)
6. Vadigullin A.D. Development of methods and tools to improve the process of unscrewing tubing – PhD diss. Almeteyvsk, Almeteyvsk State Oil Institute, 2014, 157 pp. (In Russian)
7. Bykov I.Yu., Yushin E.S. Stand for testing of threaded tube couplings at screwing and unscrewing in corrosive and abrasive environments. Neftyanoe khozyaistvo = Oil Industry, 2014, No. 8. P. 98–99. (In Russian)
8. Patent 2555494 Russian Federation, IPC G01N 3/56. Stand for testing of threaded tube couplings at screwing and unscrewing in a corrosive environment. Authors: Bykov I.Y., Yushin E.S. № 2013138544/28; applicant and patentee – Ukhta State Technical University. Fil. of appl. 19.08.2013, Publ. 10.07.2015. (In Russian)

XXIV специализированная выставка



ОАО «Тюменская ярмарка»

Адрес: Россия, 625013, г. Тюмень, ул. Севастопольская, 12, Выставочный зал
 телефакс: (3452) 48-55-56, 48-66-99, 48-53-33; e-mail: tyumfair@gmail.com. www.expo72.ru



2017

НЕФТЬ И ГАЗ

Топливо энергетический комплекс

19-22
сентября

