



Исследование усталостной прочности резьбовых соединений винтовых забойных двигателей на стенде УП-200М

Ю.А. КОРОТАЕВ,
д.т.н., академик РАЕН,
главный научный сотрудник

А.Ю. КОРОТАЕВ,
руководитель группы
резьбовых соединений

Н.Ю. МЯЛИЦИН,
главный конструктор
market-bi@integra.ru

ООО «ВНИИБТ – Буровой
инструмент»



Созданный в ООО «ВНИИБТ – Буровой инструмент» стенд УП-200М позволяет надежно и достоверно определить усталостную прочность при изгибе различных по конфигурации деталей винтовых забойных двигателей.

DHM THREAD CONNECTIONS FATIGUE STRENGTH STUDY AT UP-200M TEST STAND

Yu. KOROTAEV, A. KOROTAEV, N. MYALITSIN, «VNIIBT-Drilling Tools» Ltd

UP-200M test stand designed by VNIIBT-Drilling Tools Ltd. ensures secure and reliable fatigue strength measurement at DHM's various-configuration parts bending.

Keywords: VNIIBT-Drilling Tools Ltd., down hole motors, thread connections fatigue strength, UP-200M test stand

Появление новых технологий бурения и капитального ремонта скважин, а также использование современных моментоемких долот, привело к необходимости увеличения мощности забойного привода. В условиях растущих глубин скважин, высоких давлений, форсированных режимов бурения резко возросли требования к прочности и долговечности резьбовых соединений гидравлических забойных двигателей (ГЗД). Вопросы повышения эксплуатационных характеристик резьбовых соединений ГЗД весьма актуальны, особенно для винтовых забойных двигателей (ВЗД), из-за больших крутящих и изгибающих моментов действующих на них. В связи с этим важнейшей задачей является повышение усталостной прочности резьбовых соединений ВЗД, так как именно из-за недостаточной усталостной прочности в большинстве случаев происходит преждевременное разрушение резьбового соединения и отказ двигателя в работе.

Физико-механические свойства металла, упрочняющая технология, обработка, наличие различных концентраторов напряжений и разгрузочных элементов в значительной степени влияют на усталостную прочность деталей. Возможность оценить это влияние имеет исключительное значение при конструировании новых и совершенствовании существующих машин.

Одним из наиболее надежных и достоверных способов определения усталостной прочности при изгибе различных по конфигурации деталей является непосредственные испытания их в натурную

величину. Для этих целей в ООО «ВНИИБТ – Буровой инструмент» в 2012 г. был введен в эксплуатацию стенд УП-200М, созданный на базе стенда УП-200 НПО «Буровая техника». В конце 2012 г. были начаты работы по исследованию усталостной прочности натуральных образцов резьбовых соединений ВЗД.

Работа стенда УП-200М основана на использовании эффекта динамического усиления колебаний нагружающих масс, возбуждаемых инерционным вибратором. Принятая система нагружения образца в сравнении с другими способами дает машине ряд преимуществ: привод малой мощности, малые габариты, простота устройства, бесшумность, надежность и стабильность в эксплуатации. Во время испытания образец и закрепленные по его концам нагружающие массы, выполненные в форме прямоугольных параллелепипедов, представляют собой свободную колебательную систему, установленную на пружинах. Нагружение (деформация) образца осуществляется инерционными силами масс, которые непрерывно колеблются от упругих сил образца. Эти колебания поддерживаются действием возмущающей силы вибратора. При этом амплитуда колебаний зависит от отношения частоты собственных колебаний системы к частоте возмущающей силы. Из-за близости этих частот образец при испытании нагружается значительным по величине переменным моментом при малой затрате мощности [1].

Стенд УП-200М для испытаний образцов резьбовых соединений на усталостную выносливость (рис. 1) состоит из



основания 1 со стойкой 2 и колебательной системы. Колебательная система включает испытываемый образец 3, две близкие по весу траверсы 4, 5 и пружины 6. Концы испытываемого образца 3 закрепляются в траверсах 4, 5 при помощи планок подвижных 10, болтов стяжных 11, гаек 12 с втулками 13 и клиньев 14 с гайками клина 15. Траверсы 4 и 5 установлены на пружинах 6, расположенных на основании 1. На стойке 2 основания 1 установлен электродвигатель 7, который при помощи вала гибкого 8 и эксцентрика 9 соединен с одной из траверс.

Регистрация параметров испытаний натуральных образцов резьбовых соединений производится при помощи информационно-измерительной системы станда УП-200М, которая включает тензорезисторы, тензостанцию и компьютер [2]. Тензорезисторы 21 и 22 приклеиваются на наружную поверхность испытываемого образца 3, в плоскости наибольших напряжений. Тензорезистор 21 устанавливается в наиболее опасном сечении резьбовой части испытываемого образца 3, тензорезистор 22 устанавливается перед началом резьбовой части испытываемого образца 3. Закрепленные на испытываемом образце 3 тензорезисторы 21 и 22 подключаются к тензостанции 23, которая соединяется с компьютером 24 (рис. 2). Тензостанция является средством измерения параметров электрического сигнала и генерации сигналов синусоидальной формы, а также реализует функции измерительных приборов – генератора, вольтметра постоянного и переменного тока.

После установки тензорезисторов производится подготовка программного обеспечения и измерительной аппаратуры станда УП-200М к проведению тарировки тензорезисторов.

Тарировка тензорезисторов производится с помощью тарировочного устройства, которое состоит из вилок штанги 16, гаек 17, втулок 18, пальцев 19 и динамометра 20. При помощи гайки 17 образец нагружается требуемым изгибающим моментом (рис. 1).

Изгибающий момент $M_{изг}$, Н·м вычисляется по формуле:

$$M_{изг} = L \cdot F, \quad (1)$$

где: L – расстояние (плечо) между осевыми линиями образца и тарировочного устройства, м;

F – усилие стягивания траверс 4 и 5 (контролируется по динамометру 20), Н.

После тарировки тензорезисторов динамометр снимается со станда.

При работе станда вращение от вала электродвигателя 7 через гибкий вал 8 передается на эксцентрик 9. При вращении эксцентрика 9 возникают колебательные движения траверс 4 и 5 относительно друг друга. На испытуемом образце 3 создается знакопеременный изгибающий момент в горизонтальной плоскости. При испытаниях на усталостную прочность амплитуда напряжений в испытываемом образце 3 поддерживается постоянной. При увели-

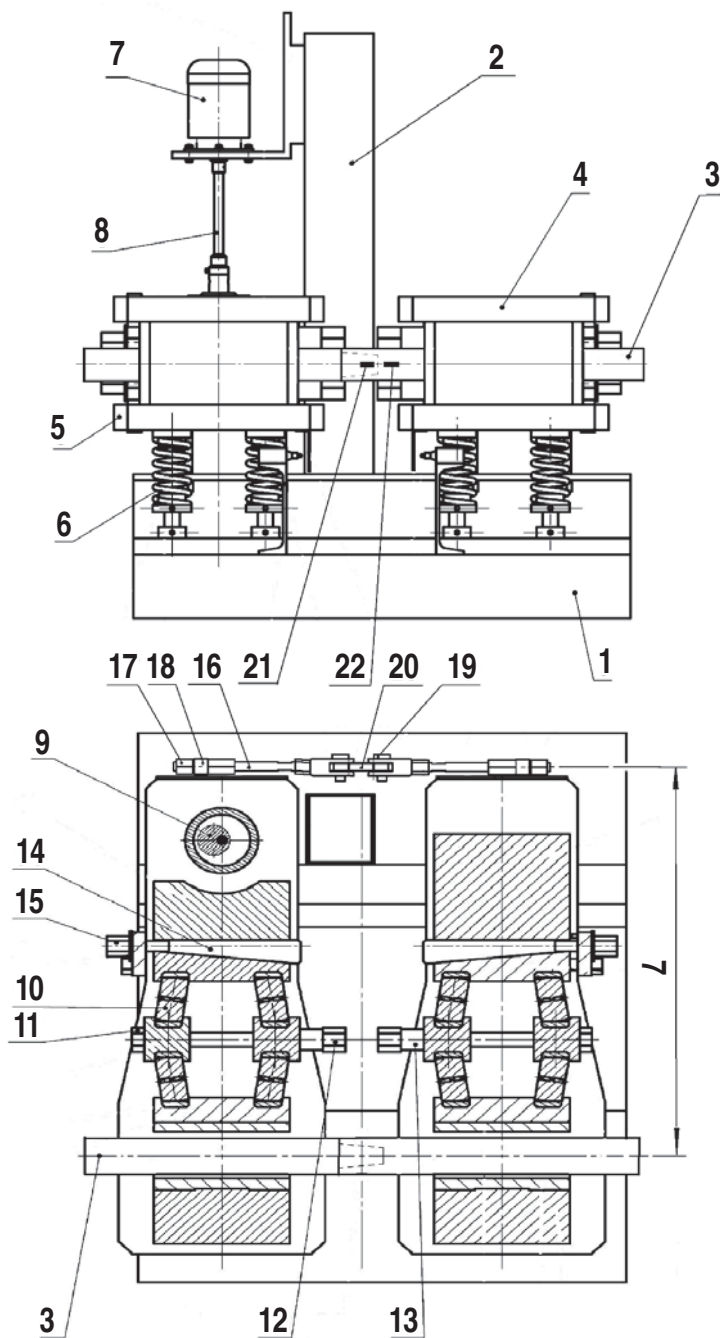


Рис. 1. Общий вид модернизированного станда УП-200М

чении оборотов электродвигателя увеличивается частота и амплитуда колебаний, благодаря чему возрастают напряжения в испытываемом образце 3, при уменьшении оборотов электродвигателя 7 частота и амплитуда колебаний уменьшается, при этом уменьшаются напряжения в испытываемом образце 3. Амплитуда напряжений, количество циклов нагружения, частота колебаний траверс и частота оборотов электродвигателя регистрируется и показывается на дисплее компьютера 24 в течение всего времени испытаний (рис. 3).

Во время испытаний нагрузка на образец периодически контролируется по показаниям вольтметра переменного тока. При необходимости нагрузка

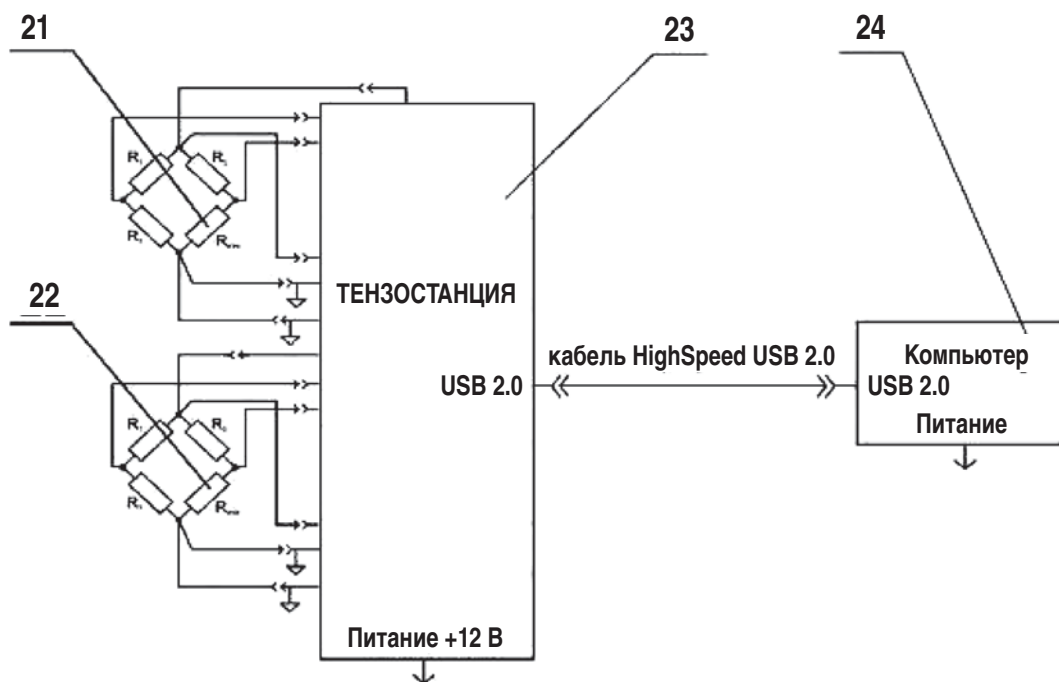


Рис. 2. Схема подключения тензорезисторов

регулируется изменением числа оборотов электродвигателя стэнда. При разрушении образца возрастает амплитуда колебаний траверс 4 и 5, что вызывает срабатывание концевого выключателя стэнда. При раскреплении образца автоматика отключает стэнд.

В ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» разработана «Методика испытаний резьбовых соединений на усталостную выносливость на стэнде УП-200М», с использованием которой проводятся испытания образцов.

В 2013 г. на стэнде УП-200М проведены сравнительные испытания на усталостную выносливость натуральных



Рис. 3. Вид рабочего окна измерительной системы стэнда УП-200М при проведении испытания



образцов резьбового соединения РКТ154х6,35х1:9,6, упрочненного различными способами.

Для проведения испытаний на усталостную выносливость всего было изготовлено по 15 натурных образцов ниппелей и муфт резьбового соединения РКТ154х6,35х1:9,6:

- 3 образца без упрочнения резьбы;
- 4 образца с обработкой впадины резьбы муфт и ниппелей поверхностно-пластическим упрочнением с применением оснастки для использования на универсальных станках (вариант А);
- 4 образца с обработкой впадины резьбы муфт и ниппелей поверхностно-пластическим упрочнением с применением специального стенда (вариант Б);
- 4 образца с упрочнением резьбы муфт и ниппелей дробеструйной обработкой (вариант В).

Все образцы имели одинаковые геометрические параметры, отклонение по резьбовым натягам составляло не более 8%, отклонение по физико-механическим свойствам материала образцов не превышало 5%. Свинчивание всех образцов производилось на механическом ключе К10 с фиксацией момента свинчивания, разброс значений которого не превышал 3%.

В соответствии с разработанной методикой испытания на усталостную прочность проводились в 3 этапа. На первом этапе при изгибающем моменте 3500 кг·м испытания проводились до достижения 3 млн циклов. На втором этапе изгибающий момент увеличивался до 4500 кг·м и испытания проводились при 1 млн циклов. На третьем этапе изгибающий момент увеличивался до 5000 кг·м и испытания проводились при 1 млн циклов. Если по окончании 3 этапа образец не разрушался, испытания прекращались.

Проведенные испытания показали, что упрочнение поверхности резьбы позволяет существенно повысить усталостную выносливость резьбового соединения (рис. 4):

– циклическая выносливость образцов с резьбой без упрочнения в среднем по трем образцам составила 458 226;

– циклическая выносливость образцов с резьбой, упрочненной по варианту А, по трем образцам оказалась в 3,1 раза выше циклической выносливости образцов с резьбой без упрочнения. Среднее значение циклической выносливости составило 1 433 704 циклов. Испытания четвертого образца завершились на 2-м этапе при достижении общего числа циклов 3,7 млн. Результаты испытаний 4 образца не учитывались при составлении диаграммы представленной на рис. 4.

– циклическая выносливость образцов с резьбой, упрочненной по варианту Б, по трем образцам оказалась в 3,2 раза выше циклической выносливости образцов с резьбой без упрочнения. Среднее значение циклической выносливости составило 1 454 471 циклов. Испытания четвертого образца завершились на 3-м этапе при достижении общего числа циклов 4,6 млн. Результаты испытаний 4 образца также не учитывались при составлении диаграммы представленной на рис. 4.

– циклическая выносливость образцов с резьбой, упрочненной по варианту В, оказалась в 2,4 раза выше циклической выносливости образцов с резьбой без упрочнения. Среднее значение циклической выносли-

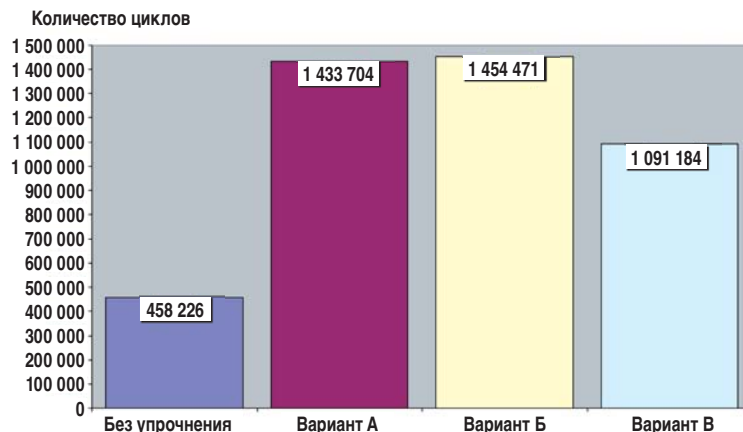


Рис. 4. Диаграмма результатов испытаний на усталостную прочность натурных образцов резьбового соединения РКТ154х6,35х1:9,6, упрочненного различными способами

вости по 4-м образцам составило 1 091 184 циклов. Полученные результаты испытаний подтвердили теорию, что упрочненное резьбовое соединение способно работать при значительно более высоких динамических нагрузках.

В настоящее время испытания на стенде УП-200М продолжаются. Проведены исследования образцов резьбовых соединений, изготовленных из различных видов заготовок. Проверяется влияние конструктивных разгрузочных элементов на усталостную прочность, проводится оценка влияния резьбового натяга. В плане работы по исследованию влияния профиля резьбы.

Литература

1. Андренко В.М. Машина для испытаний на усталость крупных образцов. Исследование прочности машиностроительных материалов / Труды ЦНИИТМАШ, 1963, № 40. С. 104 – 111.
2. Стенд для испытаний образцов резьбовых соединений на усталостную выносливость. Голдобин Д.А., Коротаев А.Ю., Коротаев Ю.А., Мялицин Н.Ю. / Положительное решение от 14.01.2014 по заявке № 2013141741 на полезную модель.
3. Щербюк Н.Д., Якубовский Н.В. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей. М.: Недра, 1974. С. 90 – 95. ■

«ВНИИБТ – Буровой инструмент»
614000, г. Пермь, ул. Карпинского, 24
Тел.: (342) 211-13-11
Факс: (342) 211-13-42
E-mail: reception-bi@integra.ru
www.vniibt-bi.ru

Ключевые слова: ООО «ВНИИБТ – Буровой инструмент», гидравлические забойные двигатели, усталостная прочность резьбовых соединений, стенд УП-200М



ВНИИБТ
БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ



Разработка, производство, реализация оборудования для бурения нефтяных и газовых скважин:

- ▶ винтовые забойные двигатели
- ▶ турбобуры
- ▶ редукторные турбобуры
- ▶ оборудование для ремонта ГЗД
- ▶ керноотборные устройства
- ▶ элементы компоновки обсадных и бурильных колонн
- ▶ инструмент для ликвидации аварий
- ▶ пакеры и устройства ступенчатого цементирования
- ▶ буровые амортизаторы
- ▶ гидравлические ударные механизмы
- ▶ устройства для спуска хвостовиков
- ▶ установки винтовых погружных насосов для добычи нефти
- ▶ мультифазные насосные установки для перекачки нефти

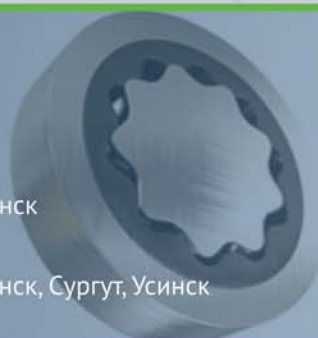
Оказание услуг:

- ▶ инженерное сопровождение при отработке ГЗД, элементов КНБК
- ▶ отбор керна собственным керноотборным инструментом или инструментом заказчика
- ▶ сдача в аренду ГЗД, элементов КНБК, керноотборных снарядов
- ▶ ремонт и техническое обслуживание бурового инструмента, восстановление секции рабочих органов собственного производства



Сервисные центры:
Пермь, Нижневартовск, Сорочинск

Представительства:
Бузулук, Красноярск, Нефтеюганск, Сургут, Усинск



Россия, 614000, г.Пермь,
ГСП, ул. Карпинского, 24
www.vniibt-bi.ru

Приемная
Тел.: +7 (342) 211-13-11;
факс: +7 (342) 280-17-67
E-mail: reception-bi@integra.ru

Дирекция по коммерции
Тел.: +7 (342) 211-12-83;
факс: +7 (342) 211-12-84
E-mail: market-bi@integra.ru

Котовский филиал
Россия, г.Котово,
Волгоградская область
Тел.: +7 (84455) 4-72-59