

УДК 622.276.5.054.3

Г.И. Бикбулатова, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Нефтегазовое оборудование», Альметьевский государственный нефтяной институт (АГНИ) (Альметьевск, Республика Татарстан, Россия), e-mail: agni-ngo@mail.ru; **П.П. Ермилов**, директор, ООО «Системы контроля нефтепромыслового оборудования» (Альметьевск, Республика Татарстан, Россия), e-mail: Ermilove84@mail.ru; **Ю.А. Болтнева**, старший преподаватель кафедры нефтегазового оборудования, АГНИ (Альметьевск, Республика Татарстан, Россия), e-mail: agni-ngo@mail.ru; **С.Л. Сабанов**, ассистент кафедры «Нефтегазовое оборудование», АГНИ (Альметьевск, Республика Татарстан, Россия), e-mail: sab-sl@mail.ru

Исследование влияния ультразвукового импульсного излучения на резьбовые соединения насосно-компрессорных труб

Прочное герметичное соединение труб обеспечивается значительными силами трения в резьбовом соединении. Для уменьшения износа резьбовых соединений необходимо уменьшать силы трения в сопрягаемых резьбовых парах непосредственно в процессе свинчивания-развинчивания. Представлены результаты импульсного акустического воздействия в квазинепрерывном режиме на резьбовое соединение насосно-компрессорных труб (НКТ). В экспериментах для акустического воздействия на НКТ использовались четыре импульсных магнитострикционных излучателя АИФП 0,7-22 и волновод-хомут для ввода излучения под углом 90°. Используемое оборудование является производственным-лабораторным набором, позволяющим получать четырехточечное многочастотное ультразвуковое поле с фазовым регулированием. Параметры ультразвуковых колебаний, такие как мощность, частота, амплитуда, угол ввода колебаний, оказывают значительное влияние на эффективность технологического процесса развинчивания НКТ с применением ультразвука. Для оценки импульсного акустического воздействия на резьбовое соединение НКТ при различных видах акустических форм колебаний, возникающих в трубе и в зоне резьбового соединения, использовался комплекс, включающий вибропреобразователь высокочастотный АР31 (частотный диапазон до 20 кГц) с усилителем А5000 и блоком питания АР01, программный пакет SpectraPLUS. При выполнении работ был проведен акустический экспресс-анализ волновых свойств трубы НКТ-73, в результате которого были определены оптимальные параметры настройки ультразвукового генератора и найдено значение ординатного размера между плоскостью возбуждения продольной ультразвуковой волны и зоной целевого воздействия – резьбовым соединением. Важной отличительной чертой данного метода является оппозитно-последовательная работа излучателей.

Ключевые слова: резьбовое соединение, ультразвук, муфта, волновод, излучатель, трение, частота, амплитуда, датчик вибрации.

.....

G.I. Bikbulatova, Almeteyevsk State Oil Institute (ASOI) (Almeteyevsk, Republic of Tatarstan, Russia), PhD (Engineering), an associate professor, head of the department of oil and gas equipment, e-mail: agni-ngo@mail.ru; **P.P. Yermilov**, Monitoring systems oilfield equipment LLC (Almeteyevsk, Republic of Tatarstan, Russia), director, e-mail: Ermilove84@mail.ru; **G.A. Boltneva**, ASOI (Almeteyevsk, Republic of Tatarstan, Russia), senior instructor of department oil and gas equipment, e-mail: agni-ngo@mail.ru; **S.S. Sabanov**, ASOI (Almeteyevsk, Republic of Tatarstan, Russia), assistant of department oil and gas equipment, e-mail: sab-sl@mail.ru

The study of the influence of ultrasonic pulsed radiation at threaded connection tubing

Firm tight connection of pipes is ensured by significant forces of friction in the threaded connection. To reduce wear of threaded connections it is required to reduce friction in matched screw pairs directly during screwing-unscrewing. Results of pulsed acoustic effect in quasi-continuous operation on the threaded connection of tubing are presented. Four pulse magnetostrictive emitters AIFP 0.7-22 and waveguide-clamp for emission input at the angle of 90° were used in experiments for acoustic effect on tubing. Used equipment is a production and laboratory kit allowing for obtaining the four-point multi-frequency ultrasonic field with phase control. Parameters of ultrasonic vibrations, such as capacity, frequency, amplitude, angle of vibration input, have a significant impact on the tubing unscrewing process efficiency with ultrasound. To assess the pulse acoustic effect on the tubing threaded connection at various types of acoustic forms of vibration in the pipe and in the threaded connection area, the complex was used including: high frequency vibration

inverter AR31 (frequency range – up to 20 kHz) with amplifier A5000 and power supply AR01, SpectraPLUS software package. When performing works, acoustic rapid analysis of wave properties of NKT-73 tubing was performed, in the result optimal parameters for the ultrasonic generator setting were determined and the value of ordinate dimension between the excitation plane of longitudinal ultrasonic wave and the area of target effect – threaded connection, was determined. An important feature of this method is opposite-consecutive operation of emitters.

Keywords: threaded connection, ultrasound, coupler, waveguide emitter, friction, frequency, amplitude, vibration sensor.

Насосно-компрессорные стальные трубы применяются в процессе эксплуатации нефтяных и газовых скважин для транспортировки жидкостей и газов внутри обсадных колонн, а также для ремонтных и спуско-подъемных работ. Трубы НКТ поставляются с треугольной резьбой (угол профиля 60°), выполненной на конической поверхности. В резьбовом соединении сопряжение резьб происходит по боковым сторонам профиля. При свинчивании резьбы на вершинах микронеровностей сторон витков в местах фактического контакта возникают чрезвычайно высокие контактные давления, иногда превышающие предел текучести для трущихся металлов, в результате чего в зоне трения возникают механические и термические удары. Контактные и упругие напряжения, проникая вглубь поверхностного слоя металла, воздействуют на диффузионную подвижность атомов в решетке, приводя к образованию прочных связей на отдельных участках сопрягаемой резьбовой пары. В дальнейшем прихват резьбового соединения способствует глубинному вырыванию металла с поверхностей витков резьбы [1].



Рис. 1. Монтаж излучателей на станке
Fig. 1. Installations of emitters on-machine

Технологический процесс ремонта НКТ включает в себя операцию по отвороту муфт при помощи муфтоотверточного станка (рис. 1). Силы трения при развинчивании труб приводят к необходимости приложения значительных крутящих моментов, иногда превосходящих по величине максимальный крутящий момент, развиваемый станком. По цеховой статистике, у 5% труб, поступивших на ремонт, станок не в состоянии отвернуть муфту. Часть труб и муфт получают глубокие задиры из-за трудностей с отвинчиванием. Для ремонта такой трубы потребуются обрезка части трубы вместе с муфтой (10–12 см по телу трубы) и дальнейшее нарезание новой резьбы уже в цеховых условиях. В результате происходит укорочение трубы и преждевременная отбраковка муфты. К тому же частая работа муфтоотверточного станка в режиме, близком к предельным параметрам, приводит к быстрому износу механизмов силового привода станка (износ кулачков зажима, удлинение приводной цепи, утечки в гидросистеме).

При затяжке резьбового соединения около 90% работы затрачивается на преодоление сил трения и только 10% – на создание усилия затяжки для обеспечения плотности и герметичности соединения [3]. Для уменьшения износа резьбовых соединений необходимо уменьшать силы трения в сопрягаемых резьбовых парах непосредственно в процессе свинчивания-развинчивания. При воздействии ультразвука наблюдается изменение пластических свойств деформируемых материалов и снижение напряжения текучести (акустиче-

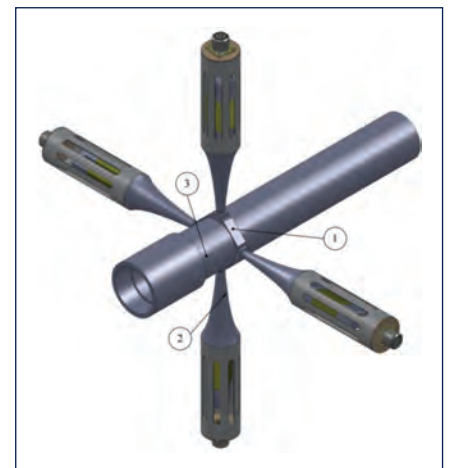


Рис. 2. Вариант сборки излучателей (использован волновод, располагающий излучатели АИФП под углом 90°): 1 – хомут; 2 – импульсный излучатель АИФП 0,7-22; 3 – труба НКТ

Fig. 2. Possible assembly of emitters (waveguide was used with AIFP emitters at the angle of 90°): 1 – clamp; 2 – pulse emitter AIFP 0.7-22; 3 – tubing

ское разупрочнение). Ультразвук, воздействуя на дислокационный механизм пластической деформации, вызывает повышение подвижности дислокаций и увеличение плоскостей скольжения [2]. Труба НКТ с физической точки зрения является хорошим волноводом, обладая правильной геометрической формой и относительно стабильными физическими свойствами в осевом направлении. Торец трубы НКТ, сочленяемый с соединительной муфтой, с акустической точки зрения является зоной нарушения однородности, связанной с резким изменением диаметра и, как следствие, собственных волновых свойств.

Ссылка для цитирования (for references):

Бикбулатова Г.И., Ермилов П.П., Болтнева Ю.А., Сабанов С.Л. Исследование влияния ультразвукового импульсного излучения на резьбовые соединения насосно-компрессорных труб // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2015. – № 6. – С. 58–64.

Bikbulatova G.I., Yermilov P.P., Boltneva G.A., Sabanov S.S. Issledovanie vliyanija ul'trazvukovogo impul'snogo izluchenija na rez'bovyje soedinenija nasosno-kompressornyh trub [The study of the influence of ultrasonic pulsed radiation at threaded connection tubing]. *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No. 6. P. 58–64.

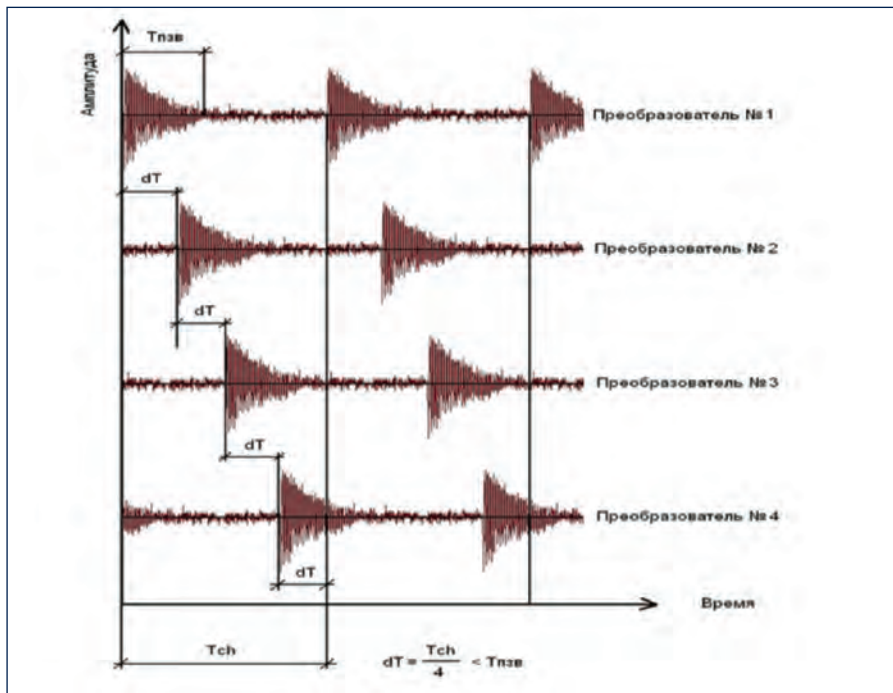


Рис. 3. Связь фаз импульсов УЗ преобразователей с временем послезвучания ($T_{пзв}$) объекта от воздействия одного пакета импульсов (иллюстрация квазинепрерывного режима)

Fig. 3. Connection of pulse phases of ultrasonic transducers with time after signal (T_{afs}) of the facility from impact of one pulse package (quasi-continuous mode demonstration)

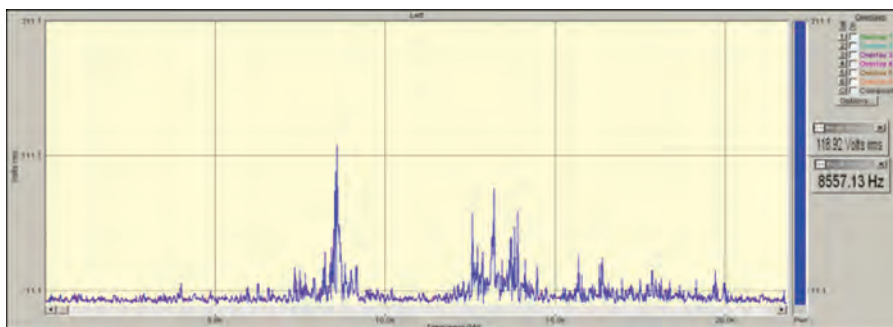


Рис. 4. Спектр 1.1. Параметры, заданные на генераторе возбуждения: частота следования положительных импульсов в пачке – 19,8 кГц; период следования пачек импульсов – 20 мс; расстояние L – 1460 мм

Fig. 4. Spectrum 1.1. Parameters specified at the excitation generator: frequency of positive pulse repetition in the burst – 19.8 kHz; period of pulse bursts repetitions – 20 ms; distance (L) – 1,460 mm

При распространении по трубе НКТ продольной механической волны в зоне муфты будут возникать эффекты отражения и преломления, что неизбежно приведет к выделению энергии в зоне перехода по поверхности нарушения однородности.

Такой поверхностью является резьбовое соединение между муфтой и трубой. Таким образом, возникающие в резьбовой зоне механические колебания способны разорвать хрупкие соединения окислов железа и вызвать

сильное микротрение на поверхностях разрыва между резьбовой частью трубы НКТ и соединительной муфтой, которое, в частности, приводит к деполимеризации связующих эпоксидных соединений, применяемых для фиксации резьб.

Набор ультразвукового инструмента акустического воздействия на трубы НКТ состоял из четырех ультразвуковых импульсных излучателей АИФП 0,7-22 (рис. 2) с воздушным естественным охлаждением, хомута крепления из-

лучателей на трубе НКТ и импульсного генератора.

Излучатели АИФП 0,7-22 возбуждаются импульсами специальной формы, которые имеют регулировку по длительности и амплитуде и связаны между собой определенными регулирующими частотными интервалами, что позволяет подобрать максимальную эффективную акустическую мощность и обеспечить квазинепрерывный режим (рис. 3) воздействия на объект.

В трубах различного размера возникают продольные, поверхностные, изгибные и крутильные нормальные акустические волны. Таким образом, для оценки импульсного акустического воздействия на резьбовое соединение НКТ необходимо определить эффективность различных видов акустических форм колебаний, возникающих в трубе и в зоне резьбового соединения. При возбуждении изгибных колебаний цилиндрический волновод рассеивает энергию колебаний на дифракционных и комбинационных модах колебаний. Для регистрации вибраций на муфте использовались вибропреобразователь АР31 (частотный диапазон до 20 кГц) с усилителем А5000 и блоком питания АР01.

На рисунке 1 показаны расположение излучателей, положение трубы НКТ в станке, положение АР31 на муфте. Расстояние L – это расстояние от датчика на муфте до середины хомута.

Рассмотрим спектры акустической мощности для различных видов акустических форм колебаний излучателей (рис. 4–9).

Спектр 1.1 (рис. 4). Основная возбуждающая частота 19,8 кГц не представлена практически на спектре. Ярко выражена частота 8,56 кГц, имеющая максимальную на спектре среднеквадратичную амплитуду 118 В. Эта частота представляет в спектре изгибную волну, длина которой 602 мм. Укладывается на длине L практически точно 2,5 раза (5 раз по полволны).

Спектр 1.2 (рис. 5). Основная возбуждающая частота 19,8 кГц не представлена практически на спектре. Ярко выражена частота 8,56 кГц, имеющая максимальную на спектре среднеквадратичную амплитуду 126 В.

The logo for PRiMATEK, featuring a stylized grid of dots to the left of the company name in a bold, blue, sans-serif font.

PRiMATEK

coating innovation

www.primatek.ru

InnoPipe

специализированные
порошковые и жидкие ЛКМ
для создания антикоррозионных и
гладкостных покрытий
нефтяных и газовых труб.

Спектр 1.3 (рис. 6). Основная возбуждающая частота 19,8 кГц не представлена практически на спектре. Ярко выражена частота 8,56 кГц, имеющая максимальную на спектре среднеквадратичную амплитуду 194 В.

Спектр 1.4 (рис. 7). Основная возбуждающая частота – 13,8 кГц, имеющая максимальную на спектре среднеквадратичную амплитуду 133 В. Эта частота представляет в спектре продольную поверхностную волну, длина которой 373 мм. Укладывается на длине L практически точно 3,95 раза (то есть 8 полуволн). При возбуждении акустических колебаний на частоте 13,8 кГц изгибная волна не представлена на спектре.

Спектр 1.5 (рис. 8). Основная возбуждающая частота – 13,8 кГц, имеющая максимальную на спектре среднеквадратичную амплитуду 172 В. Эта частота представляет в спектре продольную поверхностную волну, длина которой 373 мм. Укладывается на длине L практически точно 3,95 раза (то есть 8 полуволн). На фоне увеличения энергетического вклада (увеличение средней мощности акустических колебаний) изгибная волна получает незначительное увеличение среднеквадратичной амплитуды.

Спектр 1.6 (рис. 9). Основная возбуждающая частота – 13,8 кГц, имеющая максимальную на спектре среднеквадратичную амплитуду 129 В. Эта частота представляет в спектре продольную поверхностную волну, длина которой 373 мм. Укладывается на длине L практически точно 3,95 раза (то есть 8 полуволн). На фоне увеличения энергетического вклада (увеличение средней мощности акустических колебаний) изгибная волна получает уже значительное увеличение среднеквадратичной амплитуды до 45 вольт. Можно с уверенностью сказать, что увеличение средней акустической мощности колебаний на частоте 13,8 кГц приводит к перераспределению мощности между изгибными колебаниями на частоте 8,56 кГц и продольными колебаниями на частоте 13,8 кГц.

ВЫВОДЫ

1. Для поиска оптимальных параметров ультразвукового воздействия необходимо использовать импульсный генератор с излучателями суммарной

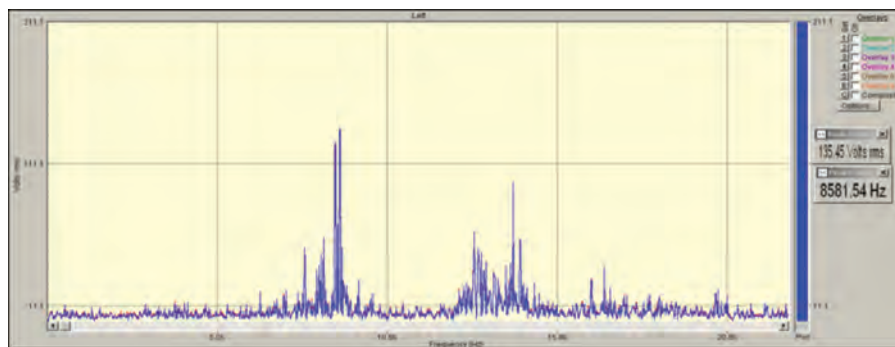


Рис. 5. Спектр 1.2. Параметры, заданные на генераторе возбуждения: частота следования положительных импульсов в пачке – 19,8 кГц; период следования пачек импульсов – 15 мс; расстояние L – 1460 мм

Fig. 5. Spectrum 1.2. Parameters specified at the excitation generator: frequency of positive pulse repetition in the burst – 19.8 kHz; period of pulse bursts repetitions – 15 ms; distance (L) – 1,460 mm

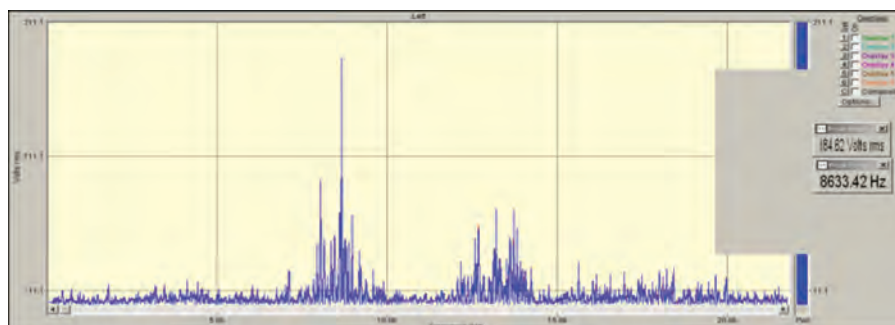


Рис. 6. Спектр 1.3. Параметры, заданные на генераторе возбуждения: частота следования положительных импульсов в пачке – 19,8 кГц; период следования пачек импульсов – 9,7 мс; расстояние L – 1460 мм

Fig. 6. Spectrum 1.3. Parameters specified at excitation generator: frequency of positive pulse repetition in the burst – 19.8 kHz; period of pulse bursts repetitions – 9.7 ms; distance (L) – 1,460 mm

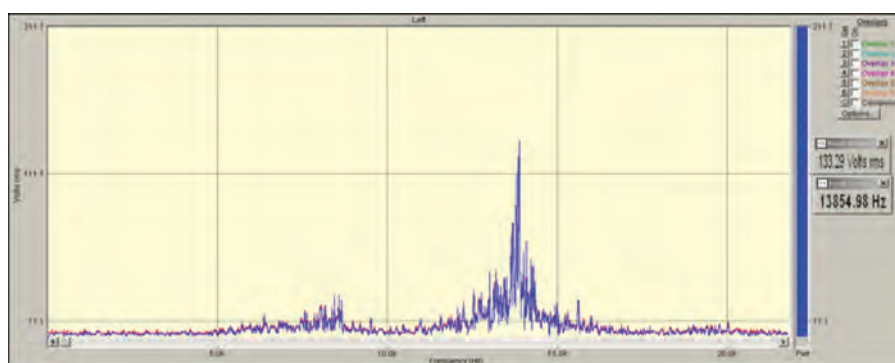


Рис. 7. Спектр 1.4. Параметры, заданные на генераторе возбуждения: частота следования положительных импульсов в пачке – 13,8 кГц; количество импульсов в пачке – 4 шт.; период следования пачек импульсов – 20 мс; расстояние L – 1460 мм

Fig. 7. Spectrum 1.4. Parameters specified at the excitation generator: frequency of positive pulse repetition in the burst – 13.8 kHz; number of pulses in the burst – 4 pcs; period of pulse bursts repetitions – 20 ms; distance (L) – 1,460 mm

мощностью не менее 2 кВт и обеспечить квазинепрерывный режим воздействия на объект, возможность работы магнитострикционных излучателей без водяного охлаждения.

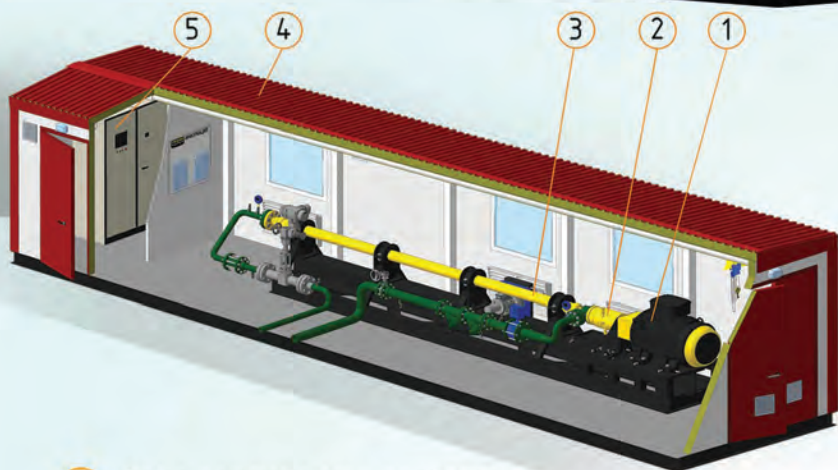
2. Для возможности оценки влияния различных режимов работы излучателей на колебательную систему (труба с муфтой, тиски станка, зажим станка) и эффективности воздействия на резьбо-

Хороший напор – залог производительного бизнеса!



www.kupercompany.com

**Инжиниринг, изготовление, комплектация,
поставка и сервис нефтепромыслового оборудования (НПО).**



- Блочная кустовая насосная станция (БКНС).
- Горизонтальная насосная установка с широким диапазоном производительности и напора.
- Интеллектуальные системы автоматизации.

1 Электродвигатель трехфазный

Обеспечивает привод насоса. Частота вращения вала электродвигателя – 1785-4165 об/мин (30-70 Гц)

2 Узел разгрузки

Предназначен для снятия осевых нагрузок, передаваемых от насосной секции на вал электродвигателя

3 Насос

Центробежная насосная секция коррозионно-износостойкого исполнения обеспечивает нагнетание жидкости. Рекомендуемое давление на приеме насоса от 0,05 до 4,0 МПа. КПД насоса до 75,9 %

4 Блочное здание (блок-бокс)

Блок-бокс – здание на жесткой раме, предназначенное для защиты размещаемого оборудования от факторов внешней среды, оснащается окнами, дверями, воротами, кран-балкой, системой освещения, отопления и вентиляции.

5 Интеллектуальная система управления

Позволяет производить гибкое регулирование технологического процесса, обеспечивают долговременную и надежную эксплуатацию оборудования, сводит к минимуму участие эксплуатирующего персонала

С 2004 года установлено более 170 единиц БКНС в большинстве нефтедобывающих регионов России, ближнего и дальнего Зарубежья.



**423450, Россия, Республика Татарстан,
г. Альметьевск, ул. Р. Фахретдина, 60 В**

**+7 (8553) 318474 | info@kupercompany.com
+7 (8553) 318135 | marketing@kupercompany.com**

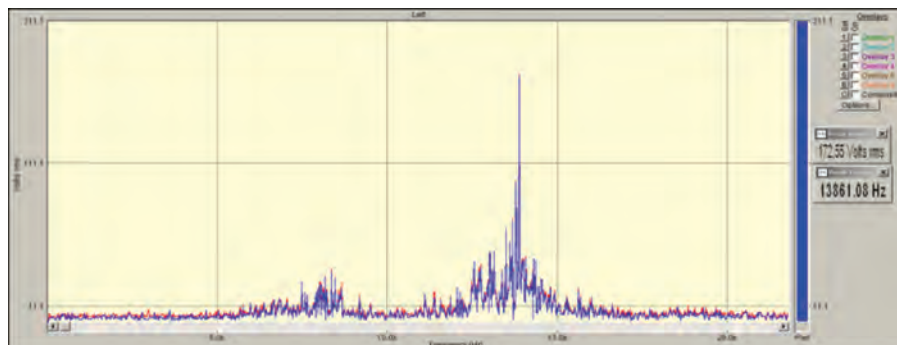


Рис. 8. Спектр 1.5. Параметры, заданные на генераторе возбуждения: частота следования положительных импульсов в пакке – 13,8 кГц; количество импульсов в пакке – 4 шт.; период следования пакчек импульсов – 15 ms; расстояние L – 1460 мм

Fig. 8. Spectrum 1.5. Parameters specified at the excitation generator: frequency of positive pulse repetition in the burst – 13.8 kHz; number of pulses in the burst – 4 pcs; period of pulse bursts repetitions – 15 ms; distance (L) – 1,460 mm

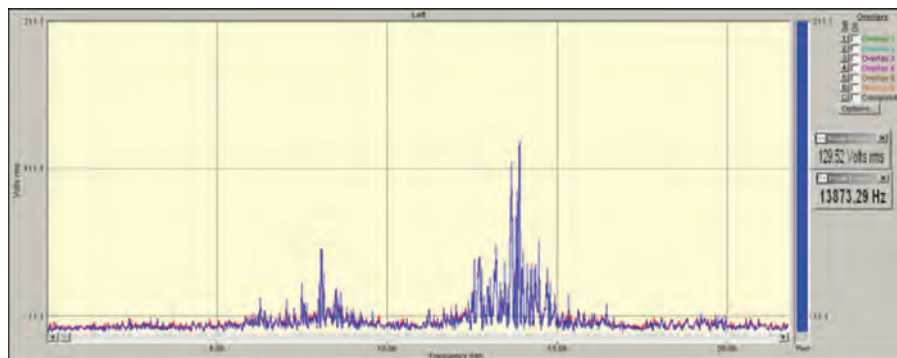


Рис. 9. Спектр 1.6. Параметры, заданные на генераторе возбуждения: частота следования положительных импульсов в пакке – 13,8 кГц; количество импульсов в пакке – 4 шт.; период следования пакчек импульсов – 9,7 ms; расстояние L – 1460 мм

Fig. 9. Spectrum 1.6. Parameters specified at the excitation generator: frequency of positive pulse repetition in the burst – 13.8 kHz; number of pulses in the burst – 4 pcs; period of pulse bursts repetitions – 9.7 ms; distance (L) – 1,460 mm

вое соединение необходимо использовать виброанализатор ультразвукового диапазона.

3. В работе представлен алгоритм экспресс-поиска оптимального режима воздействия на резьбовое соединение на примере НКТ диаметром 73 мм. При введении в зону сопряжения дополнительной ультразвуковой энергии возникают циклические нормальные и сдвиговые напряжения, способствующие изменению условий контактного взаимодействия поверхностей резьб, усталостному разрушению интерметаллических связей, продуктов коррозии и, как следствие, уменьшению сил и коэффициента трения.

4. Необходима разработка конструкции ультразвукового раскрепителя для различного типоразмера труб с волноводами, позволяющими вводить колебания под углом 45° к оси трубы для повышения эффективности ультразвукового воздействия.

5. Уменьшение величины крутящего момента, необходимого для отвинчивания муфты, достигает 40%.

6. Возможность применения ультразвукового воздействия для разборки резьбовых соединений с использованием фиксаторов и уплотнителей: анаэробные клеи, цианокрилатные клеи, силиконовые герметики, микрокапсулированные клеи, жидкие акриловые прокладки, антиабразивные покрытия.

Литература:

1. Галеев А.С., Миндиярова Н.И., Сулейманов Р.Н. Применение ультразвукового поля для повышения ресурса резьбового соединения НКТ // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 1. – С. 31–35.
2. Бикбулатова Г.И., Ермилов П.П., Тимегалиев Р.И., Миронов А.Л. Результаты испытаний акустического оборудования импульсного воздействия на резьбовые соединения насосно-компрессорных труб // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. – 2015. – Т. XIII. – Ч. 1. – С. 264–271.
3. Сверденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В. Ультразвук и пластичность. – Минск: Наука и техника, 1976. – 440 с.
4. Шуваяев И.В. Повышение эффективности сборки и контроля качества резьбовых соединений путем применения ультразвука. Автореферат дисс. канд. тех. наук. – Самара: СамГУ, 2006.

References:

1. Galeev A.S., Mindiyarova N.I., Suleymanov R.N. Primenenie ul'trazvukovogo polja dlja povysheniya resursa rez'bovogo soedinenija NKT [Use of ultrasonic field to improve durability of the tubing threaded connection]. *Stroitel'stvo nefjnyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more = Construction of oil and gas wells on-shore and off-shore*, 2009, No. 1. P. 31–35.
2. Bikbulatova G.I., Yermilov P.P., Timegaliyev R.I., Mironov A.L. Rezul'taty ispytaniy akusticheskogo oborudovaniya impul'snogo vozdejstvija na rez'bovye soedinenija nasosno-kompressornyh trub [Testing results of pulse effect acoustic equipment on the tubing threaded connections]. *Uchenye zapiski Al'met'evskogo gosudarstvennogo nefjanogo instituta = Bulletin of Almetevsk State Oil Institute*, 2015, Vol. XIII, Part 1. P. 264–271.
3. Sverdenko V.P., Klubovich V.V., Stepanenko A.V. *Ul'trazvuk i plastichnost'* [Ultrasound and plasticity]. Minsk, Nauka i Tekhnika (Science and Technology), 1976. 440 pp.
4. Shuvayev I.V. *Povyshenie jeffektivnosti sborki i kontrolja kachestva rez'bovyh soedinenij putem primeneniya ul'trazvuka*. Avtoreferat diss. kand. teh. nauk [Improvement of the assembly efficiency and quality control of threaded connections using ultrasound. Synopsis of the thesis of the Candidate of Science (Engineering)]. Samara State University, 2006.