

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ НКТ

Галеев А.С., Миндиярова Н.И.

ГОУ ВПО АГНИ

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований воздействия ультразвукового поля на процесс свинчивания-развинчивания насосно-компрессорных труб. Определено влияние ультразвукового поля на силы трения в процессе свинчивания-развинчивания. Установлен линейный рост температуры резьбового соединения в процессе свинчивания-развинчивания, при этом, скорость роста температуры в случае наложения колебаний в два раза меньше, чем без ультразвуковых колебаний.

Ключевые слова: *ультразвуковое поле, резьба, свинчивание-развинчивание.*

Одной из характерных особенностей современной нефтегазодобычи является тенденция к ужесточению режимов эксплуатации скважинного оборудования. По данным промысловой статистики более 50 % аварий трубных подвесок происходит по вине резьбовых соединений насосно-компрессорных труб (НКТ).

Главными факторами, влияющими на интенсивность износа резьбовых соединений при многократном свинчивании-развинчивании, являются:

- основные конструктивные параметры резьб;
- напряженно-деформированное состояние замкового соединения, обусловленное величиной вращающего момента, прикладываемого в процессе его свинчивания-развинчивания;
- тип применяемого антифрикционного уплотнительного состава (резьбовой смазки);
- частота спуско-подъемных операций;
- перекосы при свинчивании;
- вес колонны насосно-компрессорных труб и ряд других факторов.

Прочное соединение труб обеспечивается значительными силами трения в резьбовом соединении. Эти силы трения при свинчивании-развинчивании труб приводят к задирам, повышенному износу резьбового соединения и необходимости приложения значительных моментов. Возможности по уменьшению трения за счет смазки ограничены и приводят к увеличению риска самопроизвольного

отворачивания колонны. Желательно уменьшать трение только во время процесса свинчивания-развинчивания. В практике известен способ кратковременного «снятия» сил трения за счет приложения к колонне ударной нагрузки. В результате удара в колонне возбуждаются колебания, которые способствуют уменьшению сил трения. Разумеется, что возбуждение колебаний при помощи ударов недопустимо, поскольку приводит к риску повреждения труб. Необходимы регулярные управляемые источники колебаний – генераторы, причем длина волны возбуждаемых колебаний должна быть сопоставима с шагом резьбы (порядка 1 мм), что обуславливает использование ультразвуковых источников колебаний (~ 1...2 МГц).

Нами проведен эксперимент по оценке влияния ультразвуковых волн (УЗВ) на процесс свинчивания-развинчивания НКТ.

Экспериментальная установка и методика проведения испытаний

Установка для проведения испытаний представлена на рис. 1, в табл. 1 приведены технические характеристики автоматического ключа АПР – 2ВБМ, входящего в состав установки.

Для определения усилий затяжки и «страгивания» резьбового соединения использовался тензометрический датчик типа Т-400А, сигнал с которого передается в ПК по протоколу RS 232/485. Тарировка датчика производилась при помощи весового терминала ТВ-003/05Д-П.

Основной особенностью соединений труб и муфт нефтяного сортамента является применение конических резьб. Главным преимуществом конической резьбы является ее высокая герметичность. К испытанию были подготовлены гладкие насосно-компрессорные трубы (ГОСТ 633-80, группа прочности "Д" исполнение "Б") с конической резьбой треугольного профиля с углом 60 ° и шагом 2,54 мм [1] - с новой резьбой, нарезанной в условиях трубного цеха ООО "НКТ-Сервис" (г. Альметьевск).

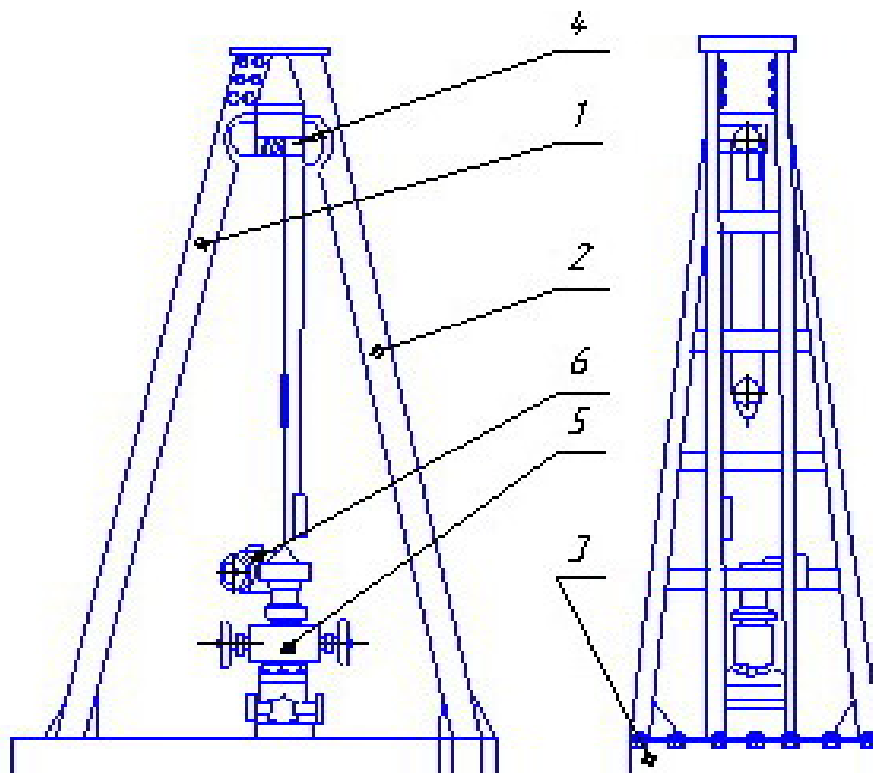


Рисунок 1. Модель буровой: 1-левая нога, 2-правая нога, 3-основание, 4-электроталь, 5-превентор, 6-автоматический ключ АПР – 2ВБМ

Таблица 1

Технические характеристики АПР – 2ВБМ

Грузоподъемность спайдера, кН	800
Максимальный крутящий момент на водиле, Н·м	4500
Частота вращения водила, об/мин	51
Диаметр захватываемых труб, мм	48, 60, 73, 89
Привод автомата	Электрический, инерционный, взрывобезопасный
Двигатель привода	Электродвигатель АИМ 100 S4 У2,5
Габаритные размеры, мм	850×460×730
Масса, кг	
- автомата в сборе	280
- полного комплекта	365

Резьбовое соединение свинчивалось с применением резьбовой смазки Р-2, рекомендованной инструкцией по эксплуатации насосно-компрессорных труб [2]. Чтобы обеспечить свинчивание без перекосов, после входа резьб ниппеля и муфты в зацепление, первые три нитки резьбы свинчивались вручную. Степень износа определялась по изменению углового смещения, для этого по длине окружности муфты наклеивалась полоса с градуировкой от 0° до 360° . После первого свинчивания под отметкой 0° на теле трубы наносилась риска и в дальнейшем, при проведении испытаний, фиксировалось угловое смещение муфты и трубы относительно друг друга (см. рис. 2а). Для дополнительного контроля износа измерялась величина условной «посадки», то есть расстояние от торца муфты после завинчивания до произвольной риски на теле трубы (рис. 2б).

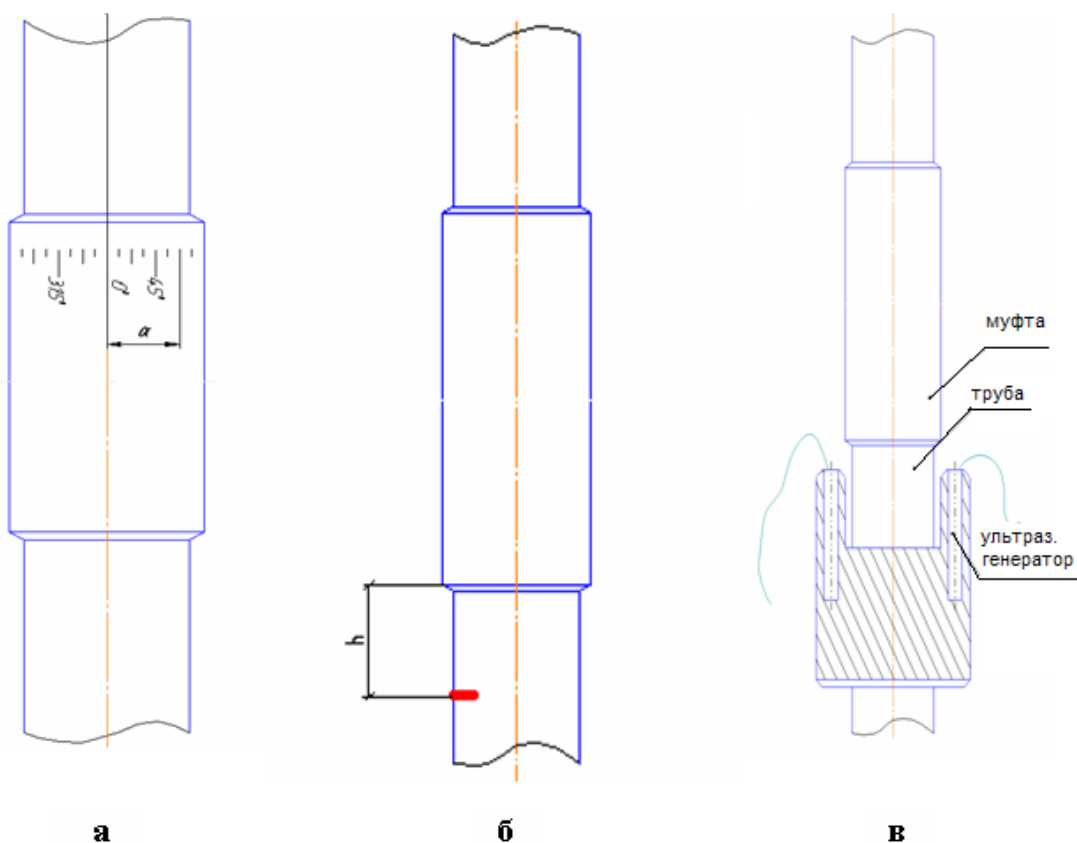


Рисунок 2. Измерение угла завинчивания (а), «посадки» (б) и расположение генератора ультразвуковых колебаний (в)

Испытания проводились в следующей последовательности: перед свинчиванием соединения на поверхность резьбы ниппеля наносилась резьбовая смазка в количестве примерно 15 граммов, и соединение подвергалось многократному свинчиванию-развинчиванию с полным выводом ниппеля из муфты после каждого цикла. Условием завершения испытаний являлась неизменность углового смещения (в пределах $\pm 5\%$) в 3 последовательных замерах (номер последнего замера – N_{max}).

Для оценки работы силы трения на контакте двух резьб (ниппеля и муфты) проводилось измерение температуры муфты, - сразу после развинчивания при помощи бесконтактного термометра - Infrared thermometer AZ Instrument – 8861.

Было проведено три серии испытаний по свинчиванию-развинчиванию насосно-компрессорных труб:

- без ультразвуковых колебаний;
- ввод ультразвуковых волн (продольных) параллельно оси трубы (рис. 2в);
- ввод УЗВ под углом 45 градусов к оси трубы.

В последнем случае вводимая энергия генерирует продольные и поперечные волны в материале трубы примерно одинаковой интенсивности (мощностью 200 Вт/м^2 , частотой 1,8 МГц).

Результаты экспериментов представлены в обобщенном виде на графиках (рис. 3-7).

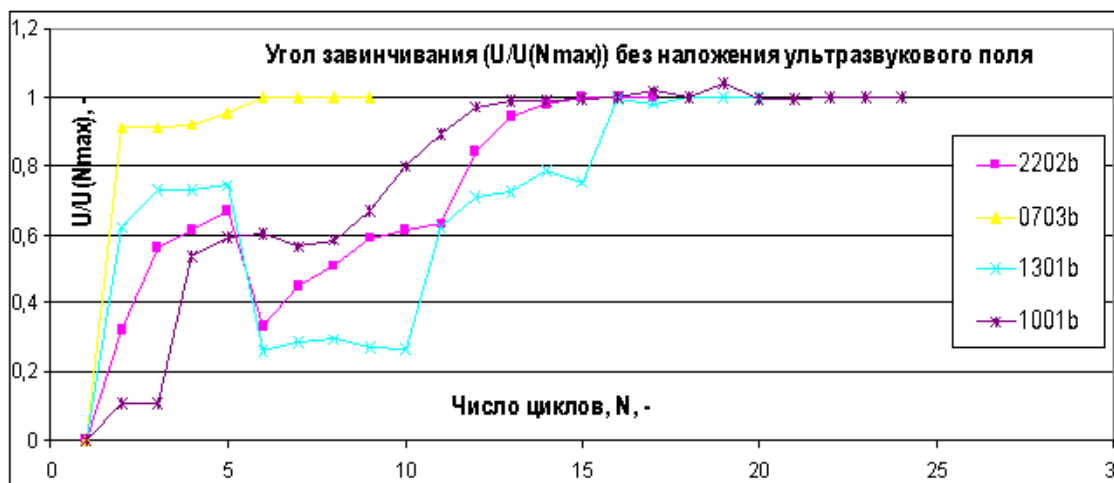


Рисунок 3. Безразмерный угол завинчивания $U/U(N_{max})$ без наложения ультразвукового поля: цифры в экспликации кривых соответствуют дате проведения замера. Абсолютные значения углов завинчивания при N_{max} изменялись от 80 до 380°

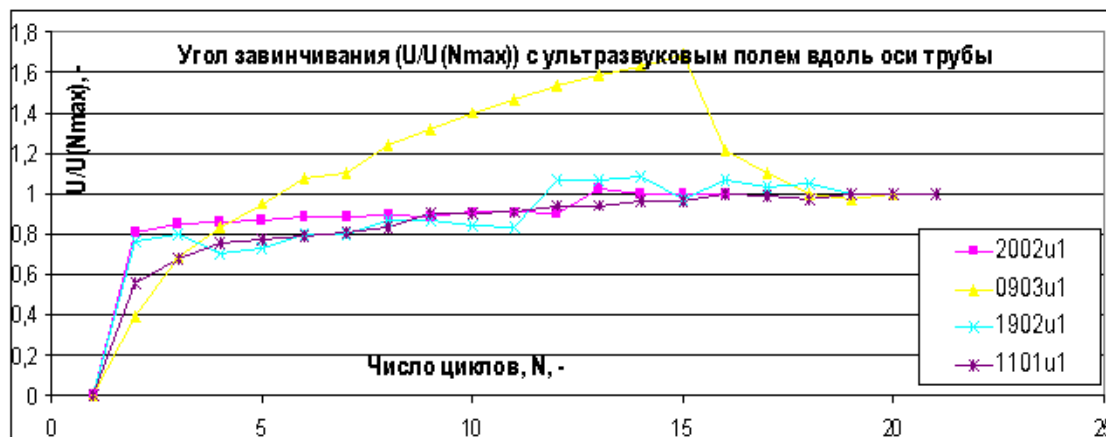


Рисунок 4. Безразмерный угол завинчивания $U/U(N_{max})$ с наложением ультразвукового поля вдоль оси трубы: цифры в экспликации кривых соответствуют дате проведения замера. Абсолютные значения углов завинчивания при N_{max} изменялись от 120 до 450 °

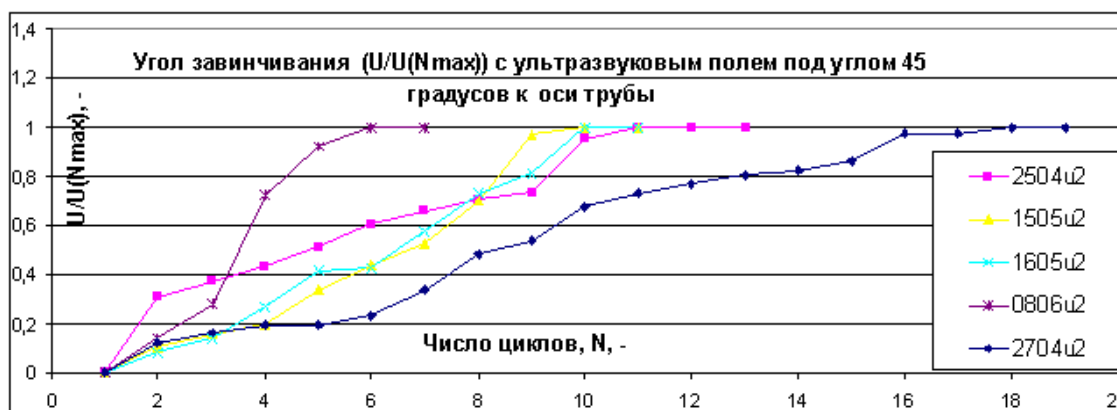


Рисунок 5. Безразмерный угол завинчивания $U/U(N_{max})$ с наложением ультразвукового поля под углом 45 град. к оси трубы: цифры в экспликации кривых соответствуют дате проведения замера. Абсолютные значения углов завинчивания при N_{max} изменялись от 95 до 480 °

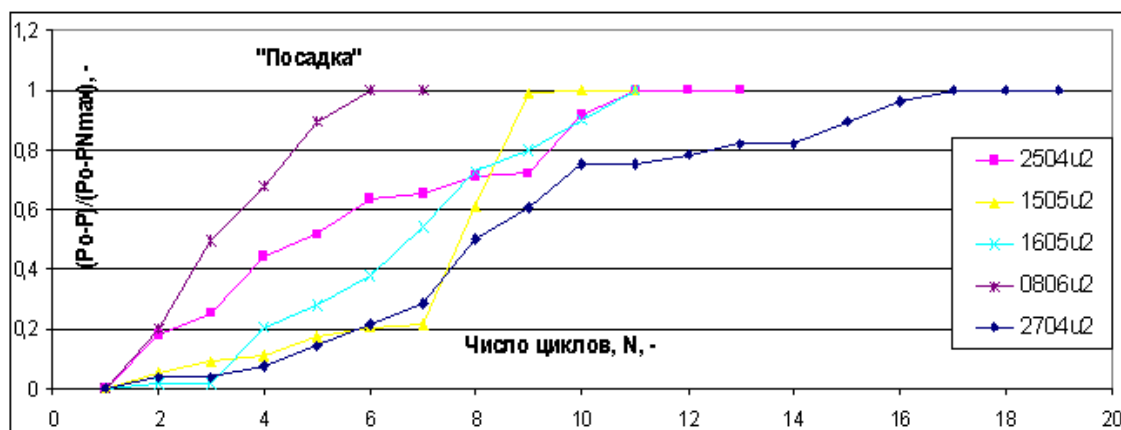


Рисунок 6. Безразмерная «посадка» с наложением ультразвукового поля под углом 45° к оси трубы: цифры в экспликации кривых соответствуют дате проведения замера. Абсолютные значения «посадки» при N_{max} изменялись от 1,23 до 18,7 мм

Обсуждение результатов

При свинчивании без применения УЗВ в среднем после пятого цикла свинчивания-развинчивания изменения угла смещения (и «посадки») приобретает знакопеременный характер (рис. 3). Это значит, что происходит разрушение вершин наиболее нагруженных витков резьбы (т.н. «задиры») и продукты разрушения увеличивают эффективную толщину отдельных ниток резьбы.

До появления задиров «посадка» также изменялась плавно, после пятого цикла появились скачки. При последующих циклах процесс образования задиров прогрессировал, так как и угол завинчивания и «посадка» изменялись скачкообразно.

Из рис. 4 видно, что при наложении ультразвукового продольного поля за счет уменьшения влияния трения изменение угла завинчивания происходит более плавно, без резких скачков. Влияние износа начало проявляться после одиннадцатого цикла свинчивания-развинчивания. Резбовое соединение выдержало больше циклов свинчивания, так как притупление вершин витков происходило медленнее, «посадка» увеличивалась сравнительно плавно.

Результаты третьей серии испытаний при введении УЗВ под углом 45° к оси трубы, приведены на рис. 5.

Такое расположение ультразвукового устройства способствует более интенсивному воздействию колебаний на витки резьбового соединения за счет изменения направления колебаний в волне (продольной) практически перпендикулярно поверхности контакта резьб ниппеля и муфты (угол резьбы 60°). Это приводит к микроперемещениям в нормальной плоскости, а значит, и уменьшению нормального напряжения (в течение одного полупериода волны), и соответственно, уменьшению трения в процессе свинчивания-развинчивания.

На графике рис. 5 видно, что угол поворота изменяется плавно, резьба работает нормально и процесс образования задиров проявляется после пятнадцатого цикла свинчивания-развинчивания. Соединение выдержало больше циклов свинчивания-развинчивания, так как скругление вершин витков из-за уменьшенного трения по профилю витков резьбы происходит в меньшей степени.

На рис. 6 для случая наложения УЗВ под углом 45° к оси трубы приведен график зависимости «посадки» от числа циклов нагружения: видна полная корреляция с графиком рисунка 5 для угла завинчивания. В остальных случаях наблюдалось аналогичное совпадение результатов замеров угла завинчивания и «посадки», что свидетельствует о работе резьбы в области, далекой от ее разрушения и, соответственно, ее «прокрутки».

Весьма характерным, подтверждающим известное явление уменьшения трения при воздействии УЗВ на резьбовое соединение [3], является изменение нагрева соединения в процессе свинчивания-развинчивания (рис. 7): видно, что имеет место линейный рост (величина достоверности больше 95 %), - ненулевое значение смещения тренда по оси Y объясняется, видимо, систематической погрешностью, связанной с измерением температуры контактным образом. При этом, скорость роста температуры в случае наложения колебаний (~ 1.47) в два раза меньше, чем без (~ 2.74).

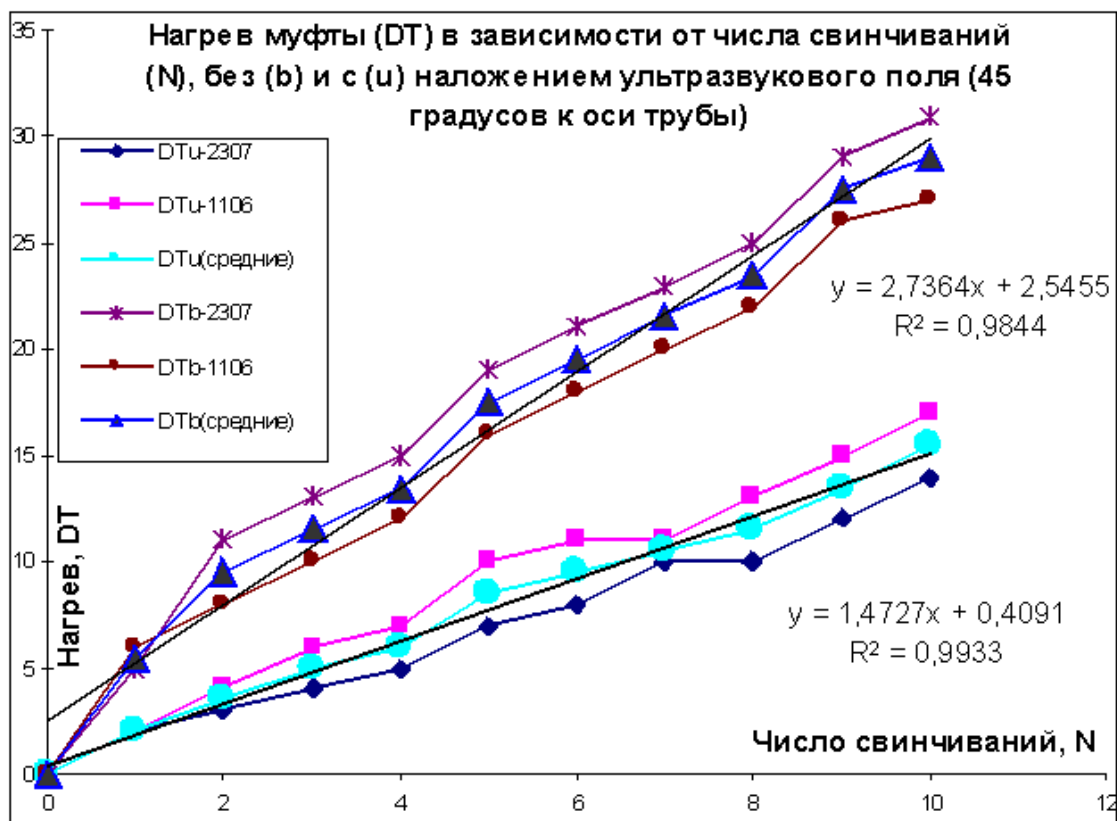


Рисунок 7. Нагрев муфты в зависимости от числа циклов свинчивания-развинчивания с (u) и без (b) наложения ультразвукового поля под углом 45° к оси трубы: цифры в экспликации кривых соответствуют дате проведения замеров (11.06 и 23.07.2007), уравнение тренда – линейное – построено по средним для двух серий по 10 циклов

Выводы

Таким образом из приведенных результатов следует, что ультразвуковые колебания оказывают существенное влияние на процессы, происходящие на поверхностях трения замковых резьб, а именно:

1. уменьшается величина силы трения и характер ее проявления, что уменьшает износ резьб за счет уменьшения числа «задиров»;
2. уменьшается работа на трение (в два раза), что также ведет к возрастанию ресурса работы резьбы;
3. установлено, что введение продольных УЗВ под углом 45° к оси трубы ведет к лучшему проявлению эффекта, чем вдоль оси.

Литература

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т.1. - 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. - М.: Машиностроение, 2001. - 920 с.: ил.
2. Инструкция по эксплуатации насосно-компрессорных труб РД 153- 39.0-365-04, ВНИИТнефть. Самара, 2004. – 69 с.
3. Сверденко В.П., Клубович В.В., Степененко А.В. Ультразвук и пластичность.- Минск: Наука и техника, 1976.- 440 с.