

МЕТОДИ І ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

УДК 620.194.8.622.24.053

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БУРИЛЬНИХ КОЛОН

© 1997, Я.М.Данилюк

ІФДТУНГ, м.Івано-Франківськ

У статті розглянуто вплив неспіввісності зварних елементів бурильних труб з приварними з'єднувальними кінцями (ТБПВ) на циклічну довговічність їх роботи у свердловині. У результаті перевірки виявлено недоліки існуючих засобів контролю неспіввісності при виробництві нових труб на металургійних заводах; створено в ІФДТУНГ удосконалений прилад контролю неспіввісності осі замка та осі тіла труби, який дає змогу визначати відокремлені значення кута неспіввісності та радіального зміщення осей; описані конструкція та принцип роботи приладу; проведена дослідно-промислова перевірка нових бурильних труб, внаслідок якої виявлено, що значна їх кількість має неспіввісність більшу, ніж допустимі значення, які передбачені технічними умовами виготовлення; розроблена методика використання бракованих труб у конкретних умовах свердловин.

Забезпечення народного господарства нашої держави енергетичними ресурсами в нафтогазовій галузі вимагає будівництва та освоєння нових продуктивних горизонтів на великій глибині, інтенсифікації процесів проводки свердловин, удосконалення технології буріння на нафту і газ. Усе це підвищує вимоги до економного використання обладнання та покращення надійності бурового інструменту і, зокрема, до найбільш відповідального в процесі буріння - бурильної колони.

З огляду надійності найбільш слабким місцем бурильної колони є різьбові з'єднання з замками труб збірної конструкції та зварні з'єднання труб з приварними з'єднувальними кінцями (ТБПВ). Аварійні відкази елементів бурильних колон є однією з головних причин зниження техніко-економічних показників буріння та непродуктивних витрат часу на ліквідацію аварій.

Під час буріння свердловин роторним способом на бурильну колону діє цілий спектр постійних та змінних навантажень. Сама бурильна колона, що є зв'язуючою ланкою між породоруйнівним інструментом та ротором, передає крутильний момент для руйнування породи, забезпечує транспортування бурового розчину до долота та піднімання вибуреної породи до устя свердловини. На бурильну колону діють постійні

напруження розтягу у верхній та стиску у нижній частині, змінні напруження згину, що виникають у викривлених ділянках свердловини, а також при використанні бурильних труб з неспіввісно привареними кінцями. В умовах такого складного напруженого стану в зварних елементах колони виникають втомні напруження, які призводять до зародження і росту тріщин, а в остаточному випадку - до руйнування цих елементів. Тому досить важливим чинником зниження аварійності бурильних колон є постійний контроль нових бурильних труб на неспіввісність та прогнозування довговічності труб з неспіввісністю для конкретних умов свердловини, а також періодичний контроль працюючих труб на наявність тріщин засобами неруйнівного контролю.

Під загальним поняттям неспіввісності треба звичайно розуміти як наявність кута неспіввісності, так і радіального зміщення паралельних осей.

При виробництві бурильних труб з приварними з'єднувальними кінцями (ТБПВ) технічними умовами виготовлення ТУ 14-3-1571-88 (1) передбачено допустиме значення кута неспіввісності осі тіла труби відносно осі з'єднуваного кінця θ , яка дорівнює 3,5 мм на довжині 1 м труби

($\theta = \arctg 0,0035 = 0,25$ град), а також допустиме значення паралельного зміщення осей $t = 0,75$ мм.

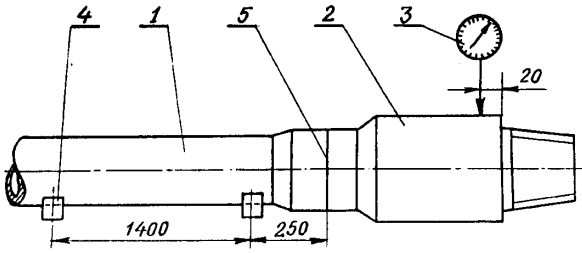


Рис. 1. Вимірювання неспіввісності при виробництві труб: 1 - тіло труби; 2 - замкова деталь; 3 - індикатор годинникового типу ІГ; 4 - опори; 5 - зварний шов.

Найбільш поширеним способом контролю бурильних труб на неспіввісність на заводах виготовлювачах є індикаторний спосіб (Таганрозький металургійний завод, Південний машинобудівний завод) та спосіб натягнутої струни (Феодосійський машинобудівний завод). За першим способом (рис. 1) контролюється труба встановлюється горизонтально на дві сцентровані обертальні опори, а замір неспіввісності проводиться індикаторами ІГ на циліндричній поверхні за її повний оберт. У випадку, коли величина неспіввісності більша від допустимого значення, проводиться виправлення труби (рис. 2) гідравлічним пресом з подальшим заміром неспіввісності. За другим способом перевіряють найбільший прогин з'єднання труб порівняно до натягнутої струни. Через значну неточність цей спосіб не отримав широкого застосування в машинобудуванні.

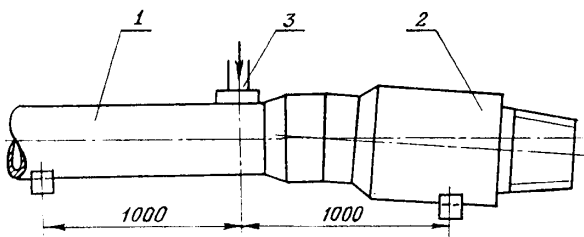


Рис. 2. Виправлення труби гідравлічним пресом: 1 - тіло труби; 2 - замкова деталь; 3 - гідравлічний прес.

При детальнішому вивченні вимірювання неспіввісності і співвідношення відокремленого впливу кута неспіввісності θ та радіального зміщення осей t на циклічну довговічність з'єднань

бурильних труб стало зрозуміло, що головним чинником, який спричиняє різке зниження витривалості труб, є саме кут неспіввісності θ , а радіальне зміщення осей t впливає тільки на зношування зовнішніх поверхонь замків.

1. Вплив кутового зміщення на циклічну довговічність бурильних колон. При роботі обертальної бурильної колони, складеної з труб з неспіввісно привареними замками (рис. 3, а), в її елементах виникають додаткові напруження згину, величина яких визначається рівнянням пружної лінії (2), що має вигляд

$$Y'' = k^2 Y - k^2 \theta (L - x) + k^2 h - \frac{M_A}{EI_x} = 0, \quad (1)$$

де Y - прогин пружної лінії осі колони, м; x - абсциса розглядуваного перерізу, м; A - модуль пружності матеріалу труб, МПа; I_x - осьовий момент інерції поперечника труби, м⁴; θ - кут неспіввісності, рад; h - прогин у точці, де вісь викривленої колони паралельна до осі свердловини, м; M_A - згинальний момент у точці перегину А, Нм; L - половина довжини бурильної труби, м.

Для спрощення позначимо

$$k^2 = \frac{P}{EI_x},$$

де P - осьове зусилля, Н.

Розв'язок рівняння (1) буде:

$$Y = c_1 e^{-kx} + c_2 e^{kx} - \theta(L - x) + h - \frac{M_A}{k^2 EI_x}. \quad (2)$$

Використовуючи граничні умови та виконуючи елементарні перетворення, одержимо

$$Y = \theta_x - \frac{\theta \operatorname{ch} kL - \operatorname{ch} k(L - x)}{k \operatorname{sh} kL}. \quad (3)$$

Враховуючи що $\exp(-kL) = 0$, то

$$Y = \theta_x - \frac{\theta}{k} (1 - e^{-kx}). \quad (4)$$

Найбільше відхилення осі колони від осі свердловини

$$h_0 = \theta L - h. \quad (5)$$

Згинальний момент по довжині труби визначається залежністю

$$M_x = P \frac{\theta}{k} e^{-kx}. \quad (6)$$

У місці перекосу при $x=0$ згинальний момент та додаткові напруження згину будуть максимальні

$$\sigma'_{\text{з.г.д.}} = \frac{\theta \sqrt{P E I_x}}{W_x} = \frac{\theta D}{2} \sqrt{\frac{P E}{I_x}}, \quad (7)$$

де $W_x = \frac{2I_x}{D}$ - осьовий момент опору перерізу, m^3 ; D - зовнішній діаметр труби в потовщеній частині зварного шва, м.

У частковому випадку при розрахунку напруження тіла труби на границі переходу до висадженої частини.

$$P = P_{\max} = \frac{F\sigma_T}{n} = \frac{\pi(D - \delta)\delta\sigma_T}{n}, \quad (8)$$

де F - площа поперечного перерізу труби, m^2 ; σ_T - границя текучості матеріалу труби, МПа; n - коефіцієнт запасу міцності; $n=1,3$; δ - товщина стінки труби, м.

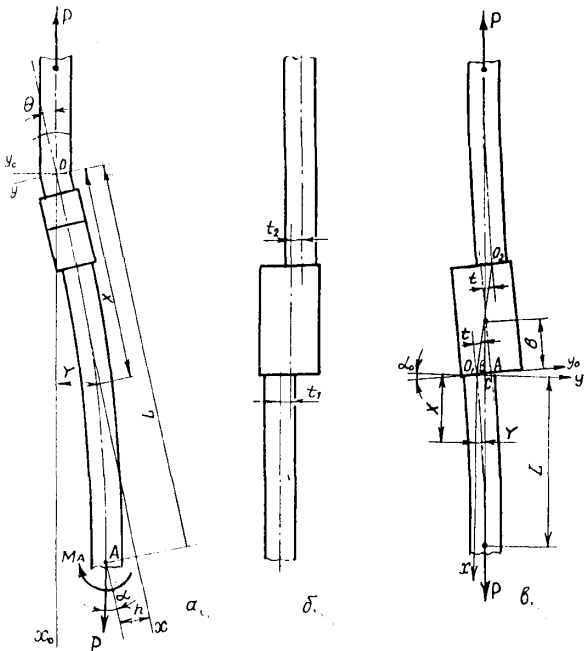


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення напружень:

а - при кутовому зміщенні осей;

б - при радіальному зміщенні осей без навантаження;

в - при радіальному зміщенні під дією осьового зусилля.

2. Вплив зміщення паралельних осей на циклічну довговічність бурильних труб. При паралельному зміщенні осей замка та тіла бурильної труби (3) при дії зусиль розтягу P замок повертається навколо точки O (рис.3,б) а на з'єднання діє ще згинальний момент M_x , який зумовлює напруження σ_m в доповнення до напружень розтягу σ_p .

Рівняння пружної лінії труби та значення згинального моменту має вигляд

$$Y'' = \frac{M_x}{EI}, \quad (9)$$

$$M_x = -P(h - y), \quad (10)$$

де h - значення прогину, м; y - ордината розглядуваного перерізу, м.

Після елементарних перетворень одержимо рівняння пружної лінії.

$$Y'' = k^2Y + k^2h = 0. \quad (11)$$

Згинальний момент у довільному перерізі

$$M = P \frac{t}{1 + bk} e^{-kx}, \quad (12)$$

де t - паралельне зміщення осей замка та труби, м; b - половина довжини замка, м.

Найбільший згинальний момент згину буде в місці з'єднання труби з замком

$$M_{\max} = P \frac{t}{1 + bk}. \quad (13)$$

Максимальні додаткові напруження при паралельному зміщенні осей замка та тіла труби на t дорівнюватимуть

$$\sigma''_{з.г.д.} = \frac{Pt}{(1 + bk)W_x} = \frac{PtD}{2I_x(1 + bk)}. \quad (14)$$

У практиці виготовлення бурильних труб існує кут неспіввісності θ та радіальне зміщення осей t . У цьому випадку осі замка та тіла труби - мимобіжні. Найбільш несприятливим у таких умовах є випадок, коли максимально навантажені волокна труби від вказаних чинників збігаються. За таких умов напруження, визначені за формулами (17) та (14) додають:

$$\sigma_{з.г.д.} = \frac{\theta D}{2} \sqrt{\frac{PE}{I_x}} + \frac{PtD}{2I_x(1 + bk)}. \quad (15)$$

При наявності перекосу та при розтягу колони осьовим зусиллям P нормальні напруження визначаються

$$\sigma_{II} = \sigma_p + \sigma_{з.г.д.} = \kappa_\theta \cdot \sigma_p, \quad (16)$$

де σ_p - напруження розтягу, Мпа; $\kappa_\theta > 1$ - коефіцієнт збільшення нормальних напружень в зоні шва біля висадки труби.

$$\kappa_\theta = 1 + \frac{\theta \sqrt{E_p / \sigma_T}}{\sqrt{1/2 - \delta/D(1 - \delta/D)}}. \quad (17)$$

Для визначення ступеня впливу згаданих вище чинників на напружений стан зварних з'єднань розглянемо трубу ТБПВ 127x10Д. При коефіцієнті запасу $n=1,3$ та допустимих значеннях кута неспіввісності $\theta=3,5 \cdot 10^{-3}$ рад у зоні

переходу висадженої частини $k=0,9208 \text{ м}^{-1}$ максимальне зусилля $p=r_{\text{max}}=1053 \text{ кН}$, $M_0=4\text{кНм}$, напруження розтягу $\sigma_p=286,5 \text{ МПа}$; напруження згинання $\sigma_p=40,2 \text{ МПа}$; коефіцієнт збільшення напружень $N=1,14$, тобто при наявності кута неспіввідності $\theta=0,25$ град нормальні напруження зростають на 14 %.

Висновок. Існуючі засоби контролю неспіввідності при виготовленні бурильних труб на заводах виготовлювачах не дають змоги визначати відокремлені значення кута неспіввідності θ та радіального зміщення осей t ; необхідно також створити удосконалені засоби контролю неспіввідності оскільки вказані раніше чинники по різному впливають на циклічну довговічність бурильних колон.

Прилад для вимірювання неспіввідності Прилад служить для відокремленого вимірювання кута неспіввідності та радіального зміщення осей тіла та замка бурильних труб з приварними з'єднувальними кінцями (ТБПВ) діаметрами 114 та 127 мм (рис.4). Прилад складається з монтажного та вимірювального вузлів. Монтажний вузол складається зі змінної втулки 1, з'єднаної з одного боку різьбою з ніпельною чи муфтовою частиною контрольованої труби 3, а з іншого - циліндричною різьбою з гільзою 2. На шліфованих бігових доріжках гільзи 2 на циліндричній дворядній роликовій опорі кочення 5 з допомогою стопорного кільця 6, ущільнюючих кілець 7 та гайки 8 змонтовано обойму 4 з можливістю обертання навколо осі труби. На торці обойми 4 в різьбових отворах закріплені паралельно між собою напрямні стержні 9, на яких гвинтами 27 закріплені повзун 10, що служить основою вимірювального вузла і має можливість переміщення на стержнях паралельно до твірної контрольованої труби.

З допомогою гайки 12 до повзуна 10 на щільній посадці закріплені корпус 11 вимірювального вузла (рис.5). Всередині корпусу на опорах ковзання 13 встановлена рухома втулка 14 з можливістю вертикального переміщення.

У поперечному пазу нижньої частини втулки на осі 15 закріплені триплечовий важіль-коромисло, а в верхній її частині з допомогою різьби закріплені упор 18 з розміщеною в ньому пружиною стискування 17. Від випадання з корпусу рухома втулка утримується гайкою 19. У різьбовому отворі рухомої втулки закріплена горизонтально розташована гільза 20 з можливістю вертикального переміщення на ковзній посадці в пазу корпусу 11, а гвинтом 21 в гільзі

закріпленій горизонтально розташований індикатор годинникового типу 22. У різьбовому отворі верхнього торця корпусу 11 закріплена гільза 23 з контргайкою 24, а гвинтом 25 закріплені вертикальний індикатор 26. Триплечовий важіль в нижній частині має приварені втулки, в які запресовані твердосплавні циліндричні наконечники з півсферичною поверхнею. Постійний контакт коромисла з твірною контрольованої труби забезпечується пружиною 17. Роликова опора приладу маслonaповнена. У неробочому стані вимірювальний та монтажний вузли приладу відокремлені. Горизонтально встановлений індикатор служить для вимірювання кута неспіввідності θ , а вертикально встановлений - радіального зміщення осей t .

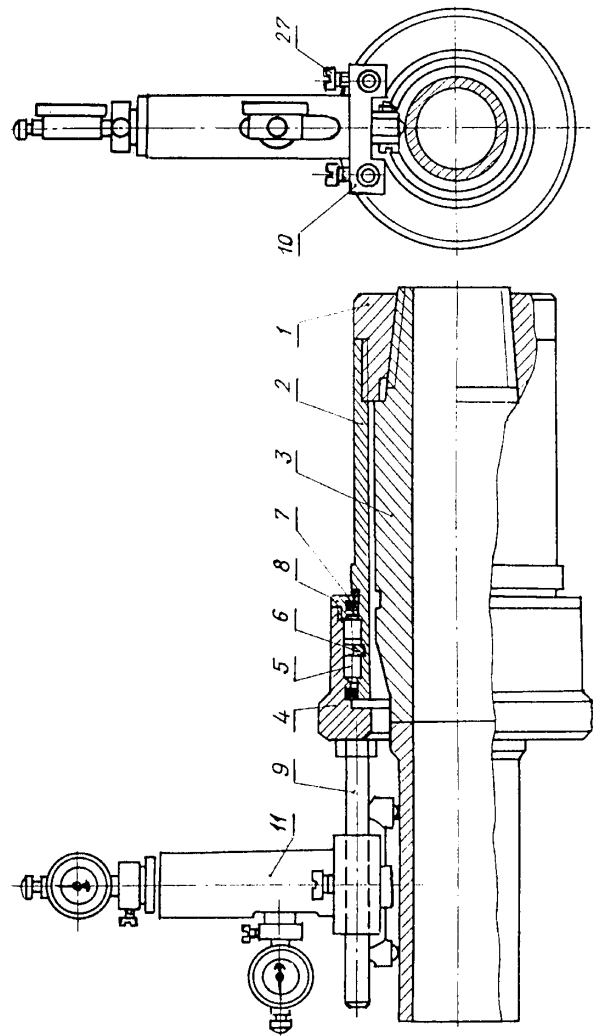


Рис.4. Прилад контролю бурильних труб на неспіввідність (загальний вигляд).

Довжина вертикального плеча коромисла 16 розрахована так, що кутове його переміщення на 1 градус відповідає лінійному переміщенню стержня горизонтального індикатора на 1 мм, тому повний оберт його стрілки відповідає значенню кута неспіввісності 1 градус.

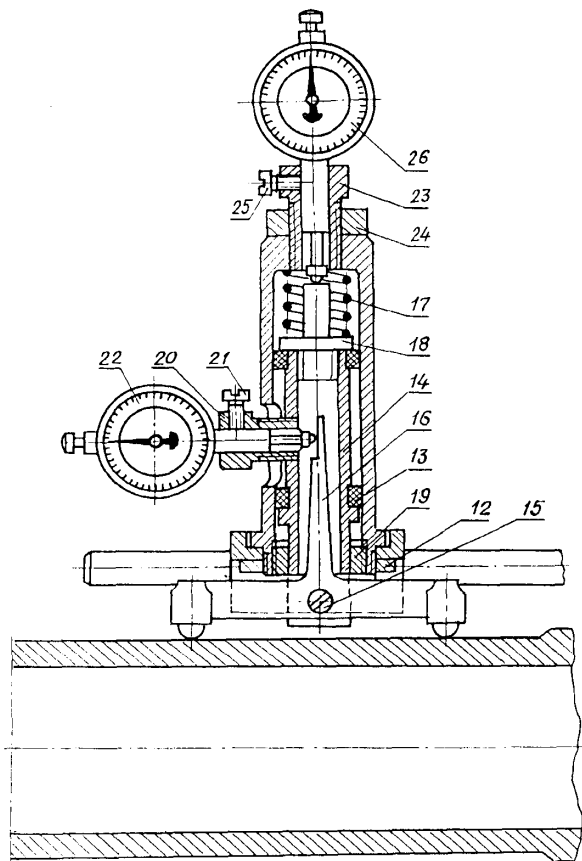


Рис. 5. Прилад для контролю бурильних труб на неспіввісність (вимірювальний вузол).

Прилад працює так: монтажний вузол за допомогою конічної різьби втулки 1 скручують з контрольованою трубою 3. На стержнях 9 гвинтами 27 закріплюють повзун з вимірювальним вузлом. Незначним стискуванням стержнів індикаторів забезпечують натяжку їх внутрішніх пружин, а їх положення фіксують гвинтами 26 і 27. При цьому забезпечується постійний контакт наконечників коромисла з твірною поверхнею контрольованої труби. Поворотом циферблатів індикаторів встановлюють "нуль" проти стрілки. Механізмом приводу в обертний рух урочомлюють горизонтально встановлену трубу і через кожних 90° повороту знімають покази обидвох індикаторів до повного оберту. По максимальному відхиленню стрілки горизонтального індикатора вимірюють кут неспів-

вісності θ , а по вертикальному - значення паралельного зміщення осей t .

Технічна характеристика приладу:

1. Типорозмір контрольованих труб - ТБПВ-114, ТБПВ-127.
2. З'єднувальна різьба втулки приладу - 3-121, 3-133.
3. Діапазон вимірювання кута неспіввісності θ , градус - ± 5 .
4. Діапазон вимірювання радіального зміщення осей t , мм - 10.
5. Вимірювальні прилади - індикатори ІГ.
6. Ціна поділки при вимірюванні кута θ , градус - 0,01.
7. Ціна поділки при вимірюванні радіального зміщення t , мм - 0,01.
8. Довжина плеча коромисла, мм - 57,4.
9. Температура середовища при вимірюваннях, градус - 10...30.
10. Маса приладу в зібраному стані, кг - 30.

На конструкцію приладу подана заявка на винахід, а в 1990 р. отримано авторське свідоцтво (4). У 1987 р. розроблено технічну документацію та виготовлено чотири прилади на Івано-Франківському заводі "Геофізприлад". Кожна реально виготовлена конструкція пройшла державну атестацію та метрологічну оцінку. Похибку приладу визначали розрахунковим шляхом за допусками спряжених поверхонь деталей, а випадкові похибки визначали на еталонній трубі з строгоспіввісними осями тіла та з'єднувального кінця. Розрахункова крива добре узгоджується з експериментальною кривою нормального розподілу Гауса (5). Визначена таким способом максимальна похибка кожного приладу не перебільшувала 20% допустимого значення кожного з параметрів. Прилад визнаний придатним для вимірювання неспіввісності в нафтогазовій галузі.

Дану розробку приладу демонстрували на міжнародній конференції "Інтерприлад - 90" та на міжнародній виставці в Москві в 1990 р.

Результати дослідно-промислової перевірки.

Дослідно-промислову перевірку приладу контролю неспіввісності проводили на трубній базі Стрийського управління виробничо-технічного забезпечення і комплектації (УВТЗ і К) об'єднання "Західукргеологія" в 1987-1988 рр. Контролю підлягали нові бурильні труби ТБПВ 127×10Е Таганрозького металургійного заводу (сертифікат якості N399, номери плавок 7508÷8575) в кількості 200 шт. З метою налагодження ефективної роботи по перевірці труб з участю науковців ІФНГ в 1987 р. створено "Пост вхідного контролю"

лю бурильних труб на неспіввісність". Пост складається з механізму приводу, механізму обертання труб, механізму підвіски приладів, горизонтально встановлених приймальних містків та кран-балки з тельфером. Контрольовану трубу строго горизонтально встановлювали в опорах механізму обертання, а з допомогою телескопічних стержнів механізмів підвіски прилади контролю неспіввісності скручували на обидвох її кінцях. Механізмом приводу труба приводилась в обертальний рух з малою кутковою швидкістю ($n=10$ об/хв), а вимірювальний вузол приладу утримувався у верхньому положенні. Покази знімали з горизонтального та вертикального індикаторів через кожних 90° провороту труби. Максимальне значення кута неспіввісності та радіального зміщення осей фіксували в журналі та на кінцях кожної контрольованої труби.

Під час перевірки встановлено, що (19...20 %) 39-40 нових заводських труб виявилися бракованими: у 34 труб кут неспіввісності θ перевищував допустиме значення, а 6 труб мали радіальне зміщення осей t , що також перевищувало допустиме значення, передбачене згаданими вище технічними умовами. З метою використання бракованих труб створена "Методика визначення ресурсу бурильних труб ТБПВ з неспіввісністю", згідно з якою визначали ресурс їх роботи для конкретних умов свердловин.

Висновки. Основним чинником, який суттєво знижує втомну довговічність обертальної бурильної колони в свердловині, є кут неспіввісності, а радіальне зміщення осей переважно впливає на зношування зовнішніх поверхонь замків.

Під час використання існуючих засобів контролю неспіввісності при виготовленні бурильних

труб з приварними з'єднувальними кінцями неможливо отримати відокремлених значень кута неспіввісності та радіального зміщення осей, які порізно впливають на втомну довговічність зварних з'єднань.

Розроблені в ІФДТУНГ удосконалені засоби дають змогу одночасно вимірювати відокремлені значення кута неспіввісності та радіального зміщення осей і з допомогою розробленої методики прогнозувати ресурс бурильних колон у конкретних умовах свердловин.

У результаті проведеної промислової перевірки нових бурильних труб на неспіввісність встановлено, що значна їх кількість (до 20 %) має кут неспіввісності більший від передбаченого технічними умовами виготовлення і їх не можна використати в викривлених ділянках свердловин без розрахунку їх ресурсу в таких умовах.

Усунення геометричних відхилень від співвісності та використання удосконалених засобів їх контролю повинно стати однією з основних вимог до якості виробництва бурильних труб з приварними з'єднувальними кінцями.

1. А.с. 1620811 ССРСР, МКІ⁴ G01B 5/24. Устройство для измерения несоосности / Е.И.Крыжатовский, Я.М.Дашлюк, Э.Г.Поддубный // Открытия. Изобрет. 1990.
2. Бурдун Г.Д., Марков Б.П. Основы метрологии. Издательство стандартов. М., 1975.
3. Зебриков В.П. Влияние параллельного смещения осей замка и бурильной трубы на ее напряженное состояние. Машины и нефтяное оборудование // Экспресс-информация. 1984. Вып.4. С.10-14.
4. Технические условия ТУ 14-3-1571-88. Трубы бурильные с приварными замками. Минчермет ССРСР. 1988.
5. Кузнецов В.Ф., Валов В.М., Зебриков В.П. Влияние перекоса осей замка и трубы на напряженное состояние бурильной колонны // Нефтяное хозяйство. 1983. N7. С.14-16.