

УДК 620.194.8.622.24.053

## ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БУРИЛЬНИХ КОЛОН З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТРУБ

© Данилюк Я. М., 2002

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

*Розглянуто вплив геометричних дефектів зварних з'єднань труб на працездатність бурильної колони, удосконалену конструкцію приладу для вимірювання параметрів неспіввідносі осей замка та тіла труб, а також питання прогнозування втомної довговічності бурильних труб з неспіввідносістю у викривлених ділянках свердловин за розробленою методикою.*

Розв'язання актуальних для України завдань по забезпеченню народного господарства енергоресурсами в нафтогазовій галузі вимагає освоєння нових продуктивних горизонтів на великих глибинах та удосконалення техніки і технології буріння на нафту і газ. Ці фактори ставлять підвищені вимоги до економічного використання бурового інструменту при проводці свердловин та підвищення надійності в роботі бурового обладнання і, зокрема, до найбільш відповідального елемента в процесі буріння - бурильної колони. Періодичні відмови бурильних колон є одними з основних причин зниження техніко-економічних показників буріння та значних непродуктивних витрат часу на ліквідацію аварій. Не дивлячись на збільшення загального об'єму труб, які перевіряються засобами неруйнівного контролю, кількість аварійних відмов бурильних колон залишається значною.

При бурінні свердловин турбінним та роторним способами використовують в основному труби з приварними з'єднувальними кінцями (ТБПВ), причому застосування цих труб є переважальним і складає до 70 % від усієї кількості труб, які використовуються в бурінні. Тому проблема забезпечення надійної роботи бурильної колони, складеної з таких труб, є актуальною. З огляду надійності найбільш несприятливою є робота бурильної колони при роторному способі буріння, коли на її елементи діє цілий спектр постійних та змінних навантажень. В умовах складного напруженого стану у зварних елементах бурильних колон виникають втомні процеси, які призводять до зародження та росту втомних тріщин, а також до повного руйнування з'єднань труб.

Головними причинами такого руйнування труб є концентрація напружень внаслідок технологічного процесу їх зварювання труб та наявність геометричних відхилень від співвідносі замків відносно тіла труби. На підставі чисельних досліджень труб ТБПВ на неспіввідносі встановлено, що більше 30 % труб,

виготовлених вітчизняними заводами, мають згадані дефекти. Тому з метою попередження аварійності бурильних колон є необхідність постійного контролю нових бурильних труб на неспіввідносі існуючими технічними засобами, прогнозування довговічності для відбракованих труб за відповідною методикою, а також періодичний контроль працюючих в колоні труб на наявність тріщин засобами неруйнівного контролю.

### 1. Визначення довговічності елементів труб

Довговічність елементів бурильної колони при дії змінних згинальних напружень та постійних напружень розтягу визначається згідно рівняння довговічності [1]

$$\lg \sigma_{np} = b \lg N + a, \quad (1)$$

де  $\sigma_{np}$  - приведені до симетричного циклу сумарні напруження в з'єднаннях труб, які визначають корозійно-втомні процеси;  $a$ ,  $b$  - коефіцієнти (параметри) рівняння;  $N$  - кількість циклів до руйнування.

Параметри рівняння  $a$  та  $b$  визначаються за результатами статистичної обробки даних корозійно-втомних випробувань натурних зразків за методом найменших квадратів і для певного типорозміру труб ці величини є постійними. Для бурильних труб ТБПВ-127×10Е за результатами таких випробувань при ймовірності неруйнування  $P=0,9$  рівняння (1) набуде вигляду

$$\lg (\sigma_a)_n = -0,4785 \lg N + 4,9518. \quad (2)$$

При роботі бурильної колони у стиснутій її частині діють згинальні напруження від викривлення свердловини

$$(\sigma_a)_n = \sigma_{ze} = \frac{D_m \cdot E}{2\rho} \cdot \frac{W_m}{W_{n.ч}}, \quad (3)$$

де  $D_m$  - зовнішній діаметр труби у зоні зварного шва;  $E$  - модуль пружності матеріалу труби;  $\rho$  - радіус просторового викривлення свердловини;  $W_m$ ,  $W_{n.ч}$  - моменти опору при згинанні поперечного перерізу тіла труби та потовщеної частини у зоні шва відповідно.

Моменти опору поперечного перерізу тіла труби та потовщеної частини при згинанні визначаються за формулами

$$W_m = \frac{\pi}{32} \left( \frac{D_m^4 - d^4}{D_m} \right), \quad W_{n.ч.} = \frac{\pi}{32} \left( \frac{D_{n.ч.}^4 - d^4}{D_{n.ч.}} \right), \quad (4)$$

де  $D_{n.ч.}$  - зовнішній діаметр потовщеної частини,  $d$  - внутрішній діаметр тіла труби.

Радіус просторового викривлення свердловин визначається такою залежністю:

$$\rho = \frac{57,3 \cdot \Delta l}{\sqrt{(\Delta \alpha)^2 + (\Delta \varphi \sin \alpha_{cp})^2}}, \quad (5)$$

де  $\Delta l$  - довжина розглядуваного інтервалу,  $\Delta \alpha$  - приріст зенітного кута в інтервалі,  $\Delta \varphi$  - приріст азимутального кута в інтервалі,  $\alpha_{cp}$  - середнє значення зенітного кута.

При роботі колони в розтягнутій частині викривленої свердловини приведені напруження з урахуванням напружень розтягу визначаються залежністю

$$(\sigma_a)_n = \sigma_{3z} + \Psi \sigma_p, \quad (6)$$

де  $\sigma_p$  - напруження розтягу,  $\Psi$  - коефіцієнт чутливості матеріалу труби до асиметрії циклу.

При роботі колони у розтягнутій частині викривленої свердловини з використанням труб з неспіввісно привареними замками виникають додаткові згинальні напруження  $\sigma_{3z,d}$ , величина яких визначається залежністю

$$\sigma_{3z,d} = \frac{\Theta \cdot D_m}{2} \sqrt{\frac{P \cdot E}{I_x}} + \frac{P \cdot t \cdot D_m}{2 I_x (1 + b \cdot k)}, \quad (7)$$

де  $\Theta$  - кут неспіввісності осі замка та труби,  $t$  - радіальне зміщення осей (ексцентриситет),  $P$  - осьове зусилля в колоні труб,  $E$  - модуль пружності матеріалу труби,  $I_x$  - осьовий момент інерції поперечника труби,  $b$  - половина довжини замка,  $k^2 = P/E I_x$ .

Приведені напруження з урахуванням додаткових напружень при неспіввісності труб, радіального зміщення та концентрації напружень будуть визначатися залежністю:

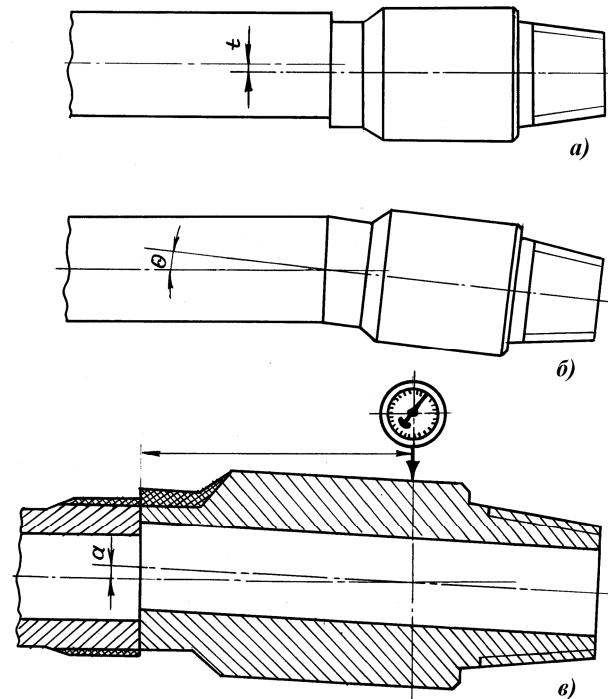
$$(\sigma_a)_n = \sigma_{3z} + \Psi (K_{\sigma}^p \cdot \sigma_p + K_{\sigma}^{3z} \cdot \sigma_{3z,d}) \quad (8)$$

де  $K_{\sigma}^p, K_{\sigma}^{3z}$  - ефективні коефіцієнти концентрації напружень при розтягу та згинанні відповідно [2].

У рівняння (7) входять параметри кута  $\Theta$  та радіального зміщення осей  $t$ , значення яких визначаються засобами контролю неспіввісності.

Під загальним поняттям неспіввісності розуміють наявність радіального зміщення  $t$  (рис. 1а) осі замка та тіла труби та кутового зміщення  $\Theta$  (рис. 1б). Як відомо, при виробництві буриньних труб ТБПВ технічними умовами [3] передбачено допустиме значення кута неспіввісності  $\Theta = \arctg 0,0035 = 0,25^\circ$ , а також допустиме значення паралельного зміщення осей  $t = 0,75$  мм. Як зазнача-

лось в [4] найбільш поширеним способом контролю неспіввісності в умовах виробництва труб є індикаторний спосіб (рис. 1в), при якому замір неспіввісності проводиться індикатором на циліндричній поверхні замка й на відстані 20 мм від торця за повний оберт труби, встановленої на двох зцентризованих опорах. Головний недолік цього способу полягає у неможливості відокремленого вимірювання кута неспіввісності та радіального зміщення осей, так як ці параметри по різному впливають на втомну довговічність з'єднання. Враховуючи ці недоліки в ІФНТУНГ розроблена, виготовлена та пройшла успішні промислові випробування перша модель приладу контролю неспіввісності труб ПКНТ-1 [4, 5], яка дозволяє з високою точністю вимірювати відокремлені значення кута неспіввісності та радіального зміщення осей. Одержані дані за результатами перевірки труб підставляють у формулу (7) для підрахунку додаткових згинальних напружень  $\sigma_{3z,d}$ .



а – радіальне зміщення, б – кутове зміщення, в – вимірювання неспіввісності в умовах виробництва труб

Рис. 1. Взаємне розташування осей замка і тіла труби

## 2. Прилад контролю неспіввісності труб ПКНТ-2

При використанні для виготовлення замків труб сучасного прогресивного обладнання замкова кінцева різьба та зовнішня циліндрична поверхня обробляються за одну технологічну установку, тобто ці поверхні вважаються співвісними. За таких умов раціональним є використання розробленої в ІФНТУНГ удосконаленої конструкції приладу конт-

ролю неспіввісності труб ПНКТ-2 з додатковим центруванням. Як і в попередній конструкції прилад служить для відокремленого вимірювання кута неспіввісності та радіального зміщення осей бурильних труб з приварними з'єднувальними кінцями діаметрами 114 та 127 мм (рис. 2, 3). Прилад складається з монтажного та вимірювального вузлів. Монтажний вузол складається із змінної втулки 1, з'єднаної з одного боку з замковою різьбою контрольованої труби 3, а з іншого боку – циліндричною

різьбою з гільзою 2 (рис. 2). На бігових шліфованих доріжках гільзи на дворядній роликівій опорі 5 з допомогою стопорного кільця 6, ушільнюючих кілець 7 та гайки 8 змонтовано обойму 4 з можливістю її обертання навколо осі труби. На торці обойми в різбових отворах закріплені паралельно між собою напрямні стержні 9, на яких гвинтами 11 до стержнів закріплені повзун 10, що служить основою вимірювального вузла. Повзун має можливість переміщення на стержнях 9 паралельно до осі труби.

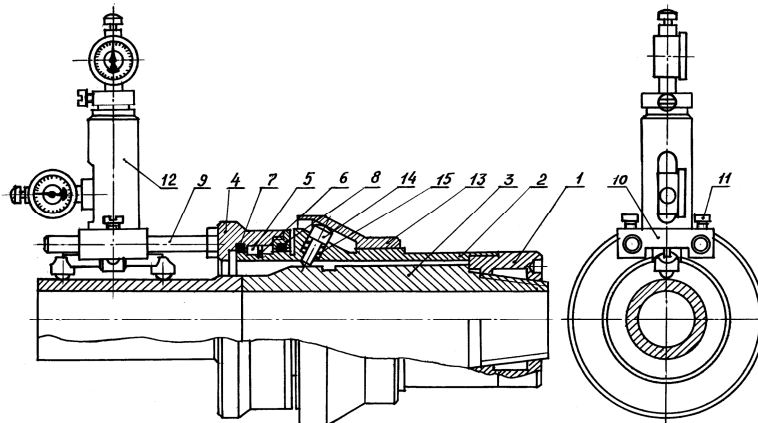


Рис. 2. Прилад неспіввісності труб ПНКТ-2

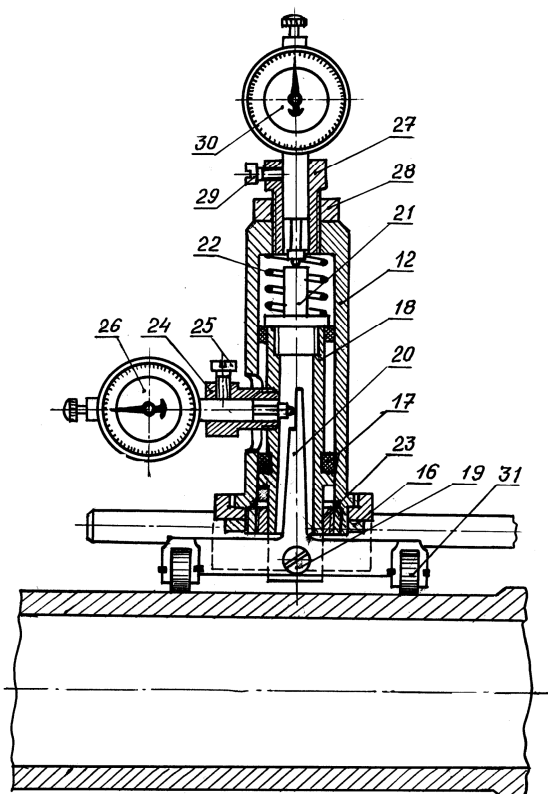


Рис. 3. Вимірювальний вузол приладу ПНКТ-2

Суттєвою відмінністю від попередньої конструкції є додаткове центрування приладу, яке здійснюється конічною втулкою 13, з'єднаною цилінд-

ричною різьбою з гільзою 2. Внутрішня конічна поверхня втулки 13 контактує з циліндричними штирями 14, які з обидвох торців мають сферичні поверхні і концентрично орієнтують другий кінець гільзи 2 відносно замка 3. Під дією пружини 15 штирі 14 повертаються в вихідне положення при розбиранні механізму вузла. З допомогою гайки 16 до повзуна 10 на щільній посадці закріплені корпус 12 вимірювального вузла (рис. 3). В середині корпусу на опорах ковзання 17 встановлена рухома втулка 18 з можливістю вертикального переміщення. У поперечному пазу нижньої частини втулки 18 на осі 19 закріплені триплечевий важіль – коромисло 20, а у верхній її частині в різбовому отворі закріплені упор 21, з розміщеною під його торцем пружиною стискування 22. Від випадання з корпусу рухома втулка утримується гайкою 23. У бічному різбовому отворі рухомої втулки 18 вгвинчена гільза 24 з можливістю вертикального переміщення на ковзній посадці в пазу корпусу 12, а гвинтом 25 в гільзі закріплені індикатор 26. У різбовому отворі верхнього торця корпусу 12 закріплена гільза 27 з контргайкою 28, а гвинтом 29 закріплені індикатор 30. Триплечевий важіль – коромисло в нижній частині має приварені циліндричні стержні, в пазах яких розміщені радіальні підшипники 31. Постійний контакт коромисла з твірною контрольованої труби забезпечується пружиною 22. Роликівая опора приладу маслорозповнена. В неробочому стані вимірювальний та монтажний вузли відокремлені. Горизонтально встановлений індикатор контактує з верхнім

важелем коромисла і служить для вимірювання кута неспіввісності  $\theta$ , а вертикально встановлений – радіального зміщення  $t$ . Довжина верхнього плеча коромисла підібрана так, що кутове переміщення на 1 град. Відповідає лінійному переміщенню в 1 мм.

**Технічна характеристика приладу ПНКТ-3**

1. Типорозміри контрольованих труб – ТБПВ – 114, ТБПВ-127.
2. З'єднувальна різьба змінних втулок – 3-121, 3-131.
3. Діапазон вимірювання кута неспіввісності  $\theta$ , град. -  $\pm 5$ .
4. Діапазон вимірювання радіального зміщення  $t$ , мм – 10.
5. Вимірювальні прилади – індикатори годинникового типу ІГ.
6. Ціна поділки при вимірюванні кута неспіввісності, град. – 0,01.
7. Ціна поділки при вимірюванні радіального зміщення  $t$ , мм – 0,01.
8. Довжина плеча коромисла, мм – 57,4.
9. Температура середовища при вимірюванні, °С – 10...30.
10. Маса приладу в зібраному вигляді, кг – 32.

На рис. 4 представлена номограма довговічності та радіальним зміщенням осей для викривлених ділянок свердловин при дії напружень розтягу 40, 80, 120 та 160 МПа та концентрації напружень і неспіввісного зварювання замків. Для користування номограмою підраховують радіус просторового викривлення свердловини  $\rho$  і, знаючи величину напружень розтягу, проводять вертикальну лінію до необхідної кривої. Від отриманої на ній точки проводять горизонтальну лінію і знаходять кількість циклів  $N$  до руйнування з'єднання, або кількість годин роботи з'єднання при 90 та 120 об./хв стола ротора.

Суттєвим фактором, який значно знижує втомну довговічність з'єднань труб, є послаблення їх поперечного перерізу внаслідок механічної обробки (обточування) зовнішньої поверхні неспіввісного зварного шва (заштрихована сіточкою зона на рис. 1в). В результаті нескладних підрахунків встановлено, що при радіальному зміщенні  $i=1$  мм площа поперечного перерізу шва зменшується на 10 %.

**Висновки**

1. Основними факторами, які суттєво знижують втомну довговічність обертової бурильної колони у свердловині, є наявність неспіввісності осей замка та тіла труб, концентрація напружень та послаблення поперечного перерізу у зоні зварного шва після механічної обробки.

2. Для прогнозування довговічності бурильних колон при роторному способі буріння рекомендується використання розроблених в ІФНТУНГ методики та технічних засобів контролю неспіввісності,

які дозволяють з достатньою точністю визначати відокремлені значення кута неспіввісності та радіального зміщення осей, так як ці параметри входять в рівняння довговічності.

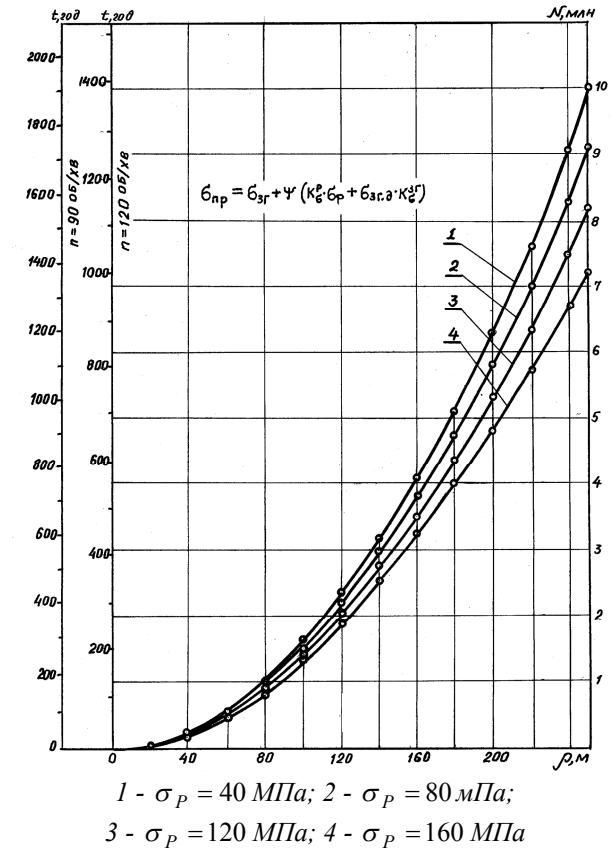


Рис. 4. Номограми довговічності труб ТБПВ-127×10Е при дії напружень розтягу, згину, неспіввісності ( $\theta = 0,25^\circ$ ) та концентрації напружень при  $t = 1$  мм

3. Розробка технічних засобів при виготовленні бурильних труб, які б забезпечили усунення геометричних відхилень від співвісності при зварюванні тертям, повинні стати однією з основних вимог до якості продукції.

1. Когаев В. Л. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. - М.: Машиностроение, 1977. - 230 с. 2. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. - М.: Машиностроение, 1975. - 488 с. 3. Технические условия ТУ 14-3-1571-88. Трубы бурильные с приваренными замками. Минчермет ГС ГР, 1988. - 48 с. 4. Прибор для измерения несоосности: А.с. 1620811 СССР, МКИ4 G01B/24 / Е. И. Крижановский, Я. М. Данилюк, Э. Г. Поддубный. 04.01.1989, опубл. 15.01.1991, бюл. № 22.

