

Машини нафтової та газової промисловості

УДК 622. 242. 001. 24 (075.8)

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ НАРОБОК ТАЛЕВИХ КАНАТІВ БУРОВИХ УСТАНОВОК

В. Т. Іващенко, М. М. Лях, Д. Ю. Журавльов, В. В. Михайлів
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380(342)72-71-47; e-mail: mechmash@nung.edu.ua*

У статті викладено аналіз основних методів визначення наробок талевих канатів при проведенні спуско-підіймальних операцій під час буріння та проведення ремонту нафтогазовидобувних свердловин (спуск та підйом бурового інструменту, спуск обсадних труб, спуск та підйом насосно-компресорних труб). Наведено аналітичні залежності визначення наробок за базовим числом циклів згинань, за границею міцності дротин каната, наробки каната за цикл спуско-підйому бурового інструменту, дана оцінка використання канатів за критеріями їх відбракування, що створює можливість прогнозувати довговічність каната.

Ключові слова: *наробка талевого каната, буровий інструмент, сведловина пряма і похила, свічки бурильних труб.*

Огляд відомих досліджень та виділення невирішених частин загальної проблеми. В роботах [1-6] проаналізовано окремі методи визначення наробок талевих канатів за критеріями їх відбракування, перепуску та до виведення їх з експлуатації.

Слід відмітити, що на даний час виконуються роботи по розробленню пристроїв та інших технічних засобів для безперервного контролю за наробкою талевого канату в оснастці талевої системи на всьому періоді його експлуатації [4, 5].

Викладення основного матеріалу. Визначення наробки каната під час спуско-підіймальних операцій (СПО) бурового інструменту, обсадних труб (під час будівництва свердловин) та насосно-компресорних (в процесі ремонту нафтогазовидобувних свердловин) застосовують два способи. Перший, при якому використовуються дані щодо натягу каната, які визначаються з діаграми навантажень на канат, отриманої з вико-

ристанням індикатора ваги, наприклад гідравлічного ГІВ. З діаграми навантажень визначається найбільше навантаження на канат під час одного рейсу гакоблоку (підйом та спуск) та кількість таких рейсів. В подальшому аналізі основна увага буде звертатись на буріння свердловини.

Наробка каната для підйому бурового інструменту (спуску) в цьому випадку визначається співвідношенням

$$q = \left(P_z \frac{L}{n\eta} + \sum_{k=1}^N F_k \cdot \Delta \right) 10^{-3} \text{ ткм}, \quad (1)$$

де q – наробка каната при підйомі (спуску) бурового інструменту в тонно-кілометрах; P_z – вага гакоблоку в тоннах; L – загальна довжина бурильних труб (від вибою до поверхні) в метрах; n – кількість віток канату, які відходять від гакоблоку; η – коефіцієнт корисної дії талевої системи; Δ – довжина ділянки труб (в метрах), які при підйомі бурового інструменту від'єднуються від колони бурових труб та розташовуються на підсвічнику; N – загальна кількість рейсів гакоблоку (один рейс – підйом та спуск гакоблоку) під час підйому (спуску) бурового інструменту, що дорівнює L/Δ ; F_k – більша сила, в тоннах, що діє на канат за один рейс гакоблоку, яка визначається з діаграми навантажень окремо для кожного рейсу гакоблоку при підйомі (спуску) бурового інструменту.

За даною схемою визначається наробка каната при підйомі (спуску) бурового інструменту як для прямих, так і для похилих свердловин.

Другий спосіб для визначення наробки талевого каната під час підйому (спуску) бурового інструменту – розрахунковий. Згідно закону про збереження енергії, робота, яку здійснюють сили натягу канатів, що відходять від гакоблоку проти сил тяжіння в прямих свердловинах дорівнює різниці потенційних енергій всіх ділянок труб після підйому бурового інструменту, які розташовані на підсвічнику бурової вежі та потенційній енергії колони бурових труб, які розташовані від вибою до поверхні перед початком підйому бурового інструменту. Різниця цих двох значень потенційної енергії бурових труб для прямих свердловин дорівнює сумі компонентів ваги секцій труб на відстань між центром ваги цієї секції та поверхнею і визначається співвідношенням

$$\Theta = 10^{-3} \sum_{i=1}^1 \pi(D_i - b_i) \cdot b_i \cdot \rho \left(L - \frac{l_i}{2} - \sum_{m=1}^{i-1} l_m \right), \quad (2)$$

де i – поточна нумерація усіх секцій труб від вибою до поверхні; m – нумерація секцій труб в межах значень m – від 1 до $(i - 1)$; D_i – діаметр i – тої секції труб, в метрах; L – повна довжина бурового інструменту від вибою до гирла свердловини, в метрах; l_i, l_m – довжина секції труб, в метрах (секція – це ділянка труб з однаковими зовнішніми діаметрами та товщиною стінки); ρ – питома вага трубної сталі, в т/м³ (сила тяжіння, що діє на один кубічний метр трубної сталі і дорівнює 7,8 тс);

Наробка каната при підйомі (спуску) бурового інструменту дорівнює

$$q = \frac{\Theta}{n \cdot \eta} + 10^{-3} \frac{2L \cdot P_z}{n \cdot \eta}. \quad (3)$$

Для похилих свердловин розрахунковим методом можливо відзначити тільки загальну наробку талевого каната під час підйому та спуску одного і того ж бурового інструмента за умови наявності графіка залежності вертикальних координат профілю свердловини, на якому нанесені ділянки секцій труб (рис. 1).

Наробки каната під час підйому бурового інструменту та спуску того ж самого бурового інструменту в похилу свердловину можуть суттєво відрізнятись за рахунок значних сил тертя, що діють на бурову колону під час її переміщення в похилій свердловині. При підйомі бурового інструменту сили тертя спрямовані вниз вздовж похилої свердловини і напрям їх дії співпадає з напрямом проекції сил тяжіння, які напрямлені вздовж свердловини. Під час спуску бурового інструменту сили тертя діють вздовж свердловини в протилежному напрямі, ніж при підйомі. Враховуючи це, при розрахунку загальної наробки каната під час підйому та спуску одного і того ж бурового інструменту, робота, яку здійснюють вітки канату, що відходять від гакоблоку проти сил тертя мають різний знак при підйомі та спуску бурового інструменту, тому в загальну наробку віток канатів при підйомі та спуску бурового інструменту входить тільки подвійна різниця значень потенційної енергії – Θ труб розміщених на підсвічнику бурової вежі та потенційної енергії бурової колони при знаходженні її в свердловині від вибою до гакоблока.

Значення різниці потенційних енергій можна записати у вигляді

$$\Theta = 10^{-3} \sum_{i=1}^1 \pi(D_i - b_i) \cdot b_i \cdot l_i \cdot \rho \cdot H_i, \quad (4)$$

де H_i – вертикальна координата положення центру ваги i -тої секції труб, в метрах, яка визначається з рис. 1.

Сумарна наробка при підйомі та спуску одного і того ж бурового інструменту визначається співвідношенням

$$q = \frac{2 \cdot \Theta}{n \cdot \eta} + 10^{-3} \frac{4L \cdot P_z}{n \cdot \eta}. \quad (5)$$

Наведені співвідношення дозволяють визначати наробку канатів, що експлуатуються на різних типах стаціонарних і пересувних бурових установках та агрегатах для капітального ремонту свердловин під час проведення СПО бурового інструменту, НКТ та спуску обсадних колон в свердловину.

Число циклів згинання каната до руйнування при роботі на шківках визначається залежністю

$$N = \frac{(D/d)^k}{F^m} \cdot C, \quad (6)$$

де: D – діаметр шківів; d – діаметр каната; k – 2,5 ... 3,0 – показник степені; $m \approx 1,7$ – показник степені кривої втоми каната; F – зусилля розтягу в канаті; C – коефіцієнт пропорційності, залежить від конструкції і типу розміру каната.

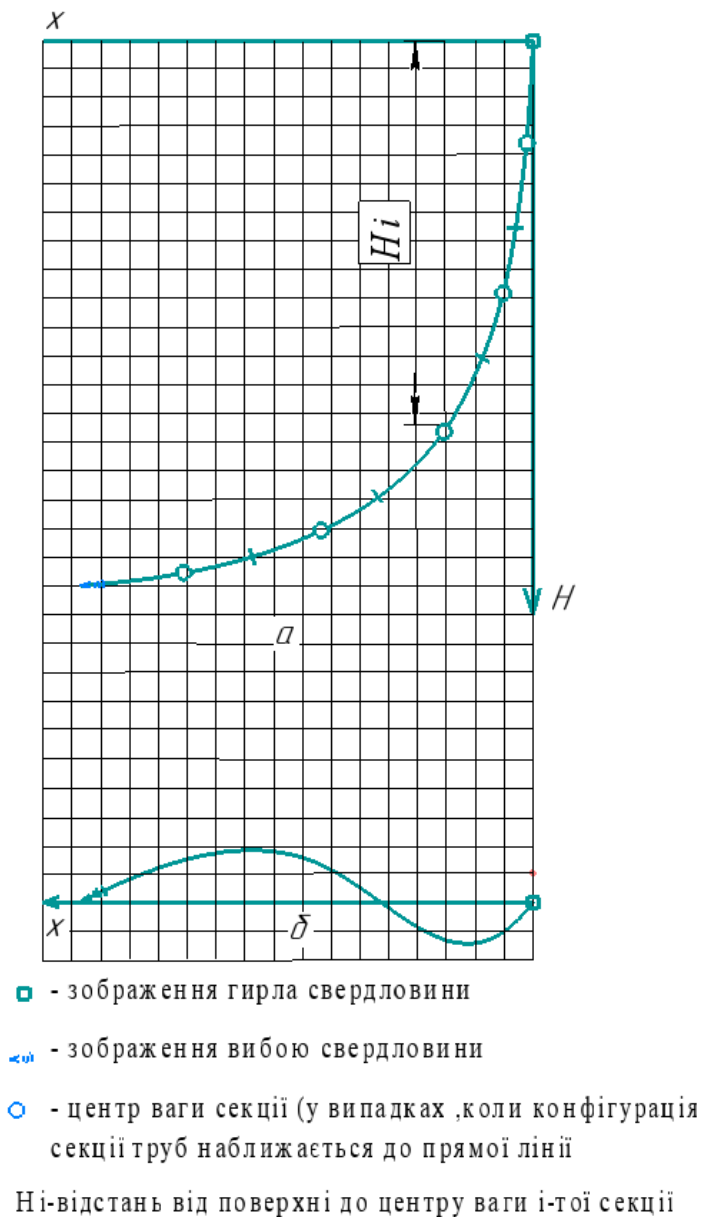


Рис. 1. Схема похилої свердловини у вертикальній проекції – a (у випадку коли площина проходить через гирло та вибій свердловини), та горизонтальній проекції – $б$

При випробовуваннях каната одного типорозміру і постійного радіуса згинання, вираз (6) можна записати

$$B_o = \sigma_o^m \cdot N_o \geq \sum F_i^m \cdot N_i, \quad (7)$$

де B_o – гранична наробка талевого каната; σ_o^m – границя витривалості талевого каната при згинальних напруженнях; N_o – базове число циклів напруження; F_i, N_i – зусилля в канаті і число згинань на i -тому рівні навантаження.

Аналізуючи вираз (7), за критерій довговічності каната можна прийняти:

- базове число циклів згинання – N_o ;
- границю втоми каната – σ_o ;
- добуток базового числа циклів згинань на границю втоми каната в степені – $N_o \cdot \sigma_o^m = B_o$ – гранична наробка талевого каната.

Розрахунок довговічності каната за базовим числом циклів згинань можна визначити за формулою

$$N_o \geq \sum N_i \left(\frac{F_i}{\sigma_o} \right)^m, \quad (8)$$

де: N_i – число циклів згинань каната при навантаженні F_i .

В даному випадку необхідно просумувати число згинань і кожний згин помножити на коефіцієнт навантаження: $\left(\frac{F_i}{\sigma_o} \right)^m$,

де F_i – навантаження в канаті у момент згинання.

Для обліку довговічності талевого каната за базовим числом циклів згинань до його відбракування необхідно: знати границю втоми каната; вимірювати діюче в канаті зусилля розтягу (зусилля від навантаження на гаку); проводити відлік кількості згинань каната в найбільш навантаженій ділянці і при кожному наступному згинанні додавати відношення $\left(\frac{F_i}{\sigma_o} \right)^m$.

Сумарне число згинань, зведене до базового, визначається відношенням суми поточного навантаження і границі витривалості в степені « m »

$$N_\Sigma = \sum_1^N \left(\frac{F_i}{\sigma_o} \right)^m. \quad (9)$$

Таким чином, за базовим числом згинань до відбракування каната N_o і сумарним значенням N_Σ можна прогнозувати довговічність талевого каната.

Розрахунок довговічності каната на основі границі витривалості може бути виконаний за формулою

$$\sigma_o \geq \sqrt[m]{\sum \frac{N_i \cdot F_i^m}{N_o}} \quad (10)$$

Формула (10) може бути реалізована після перетворення у вигляді

$$\sigma_o \geq \sqrt[m]{\frac{\sum F_i^m}{N_o}} \quad (11)$$

Формула (11), за своїм складом має інформацію аналогічну формулі (9). Однак формула (9) значно зручніша в застосуванні за кількістю математичних операцій.

Якщо взяти за критерій довговічності талевого каната добуток базового числа циклів згинань на границю витривалості в степені “ m ”, то у відповідності з виразом (7) наробка талевого каната визначається за формулою

$$B_o = N_o \cdot \sigma_o^m \geq \sum_1^N F_i^m, \quad (12)$$

де: N – число згинань каната.

Наробка каната за формулами (9), (11), (12) може визначатися або експериментальним способом при підйомі кожної свічки, або теоретично за кожний рейс бурильної колони.

Експериментальний спосіб полягає в тому, що в процесі переміщення талевого блока фіксують час збільшення згинань на найбільш навантаженій ділянці каната в талевій системі і вимірюють зусилля розтягу в канаті, що відповідає моментам часу збільшення згинань, після чого отримана інформація обробляється за однією із формул (9), (11), (12).

Наробка талевого каната за один рейс може бути розрахована теоретично за формулою (12), для чого необхідно виконати деякі допущення і перетворення.

В першому наближенні основні допущення приймають наступні:

- згинання каната на шківках і на барабані лебідки однаково впливає на накопичення втомних факторів в канаті;
- число згинань на максимально навантаженій ділянці каната в оснастці за цикл підйому талевого блока на висоту однієї свічки визначається за формулою

$$Z = \frac{\varepsilon \cdot l_{св} \cdot u_{тс}}{H + \pi \cdot R}, \quad (13)$$

де Z – число згинань найбільш навантаженої ділянки каната за цикл одного підйому; $l_{св}$ – довжина свічки бурильних труб; ε – коефіцієнт перепідйому свічки; $u_{тс}$ – кратність оснастки; H – відстань між осями кронблока і талевого блока при нижньому його положенні; $\pi \cdot R$ – довжина половини кола шківка по дну канавки.

При підйомі одноступінчастої бурильної колони із n свічок, навантаження в талевому канаті

$$F_i = \frac{Q_i}{u_{тс}}, \quad (14)$$

де Q_i – навантаження на гаку з врахуванням ваги рухомих елементів талевої системи і ваги низу компоновки бурильної колони при підйомі i -тої свічки; $u_{тс}$ – кратність талевої системи.

Навантаження на гаку визначаються:

- при підйомі колони максимальної довжини, тобто при підйомі першої свічки:

$$Q_1 = qL + G_{тс} + P = G_{св}(n + k)$$

- при підйомі другої свічки:

$$Q_2 = G_{св}(n - 1 + k)$$

- при підйомі третьої свічки:

$$Q_3 = G_{св}(n - 2 + k)$$

- при підйомі n -ої свічки:

$$Q_n = G_{св}(1 + k)$$

де q – вага погонного метра бурильних труб; L – довжина бурильної колони; $G_{тс}$ – вага рухомих елементів талевої системи; P – перевищення ваги компоновки низу бурильної колони над вагою бурильних труб такої же довжини; $G_{св}$ – вага бурильної свічки; n – число бурильних свічок в колоні довжиною L .

$$k = \frac{G_{тс} + P}{G_{св}}. \quad (16)$$

Кожне рівняння системи (15) підносимо до степені “ m ” і підставивши їх у формули (14), а потім в (12) і просумувавши одержимо (з урахуванням підйому і спуску інструмента, а також розвантаженого елеватора)

$$B = Z \sum_{i=1}^{i=N} F_i^m = 2Z \left(\frac{G_{св}}{u_{тс}} \right)^m \cdot [(n + k)^m + (n - 1 + k)^m + (n - 2 + k)^m + \dots + (1 + k)^m + 2Z \cdot n \cdot \left(\frac{G_{св}}{u_{тс}} \right)^m], \quad (17)$$

де Z – число згинань максимально навантаженої ділянки каната за цикл одного підйому.

Суму членів в квадратних дужках виразу (17) можна представити

$$\begin{aligned} & [(n + k) + (n - 1 + k)^m + (n - 2 + k)^m + \dots + (1 + k)^m] = \\ & = [1^m + 2^m + 3^m + \dots + (n + k)^m] - (1^m + 2^m + 3^m + \dots + k^m). \end{aligned} \quad (18)$$

Права частина формули (18) є різниця суми двох рядів. Прийемо $(n+k) = n_1$, за умовно зведenu довжину бурильної колони в свічках, су-ма членів першого ряду, буде дорівнювати:

$$1^m + 2^m + 3^m + \dots + n_1^m = \left[a \cdot n_1 + \frac{(n_1 + 1) \cdot (2n_1 + 1)}{6n_1} \right] \cdot n_1^m. \quad (19)$$

де a – поправочний коефіцієнт.

Аналогічна сума членів другого ряду правої частини формули (18) має вигляд:

$$1^m + 2^m + 3^m + \dots + k^m = \left[a \cdot k + \frac{(k + 1) \cdot (2 \cdot k + 1)}{6k} \right] \cdot k^m. \quad (20)$$

Підставляючи значення (19), (20) в (18) і в (17), одержимо формулу для визначення наробки талевого каната за цикл спуско-підйому ін-струмента:

$$B = Z \cdot \sum_1^N F_i^m = 2Z \left(\frac{G_{ce}}{u_{tc}} \right)^m \cdot [a \cdot (n_1^{m+1} - k^{m+1}) + \frac{(n_1 + 1) \cdot (2n_1 + 1) \cdot n_1^{m-1} - (k + 1) \cdot (2k + 1) \cdot k^{m-1}}{6} + n]. \quad (21)$$

Величина поправочного коефіцієнта “ a ” залежить від показника степені кривої втоми “ m ” і наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Значення поправочного коефіцієнта “ a ”

Показник степені кривої втоми “ m ”	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Поправочний коефіцієнт “ a ”	0,066	0,051	0,037	0,024	0,0115	0,000

При двоступінчатій бурильній колоні наробка каната за цикл спуско-підйому визначається за формулою

$$B = Z \cdot \sum_1^N F_i^m = 2 \cdot Z \cdot \left(\frac{G'_{ce}}{u_{tc}} \right)^m \cdot [a(n_1^{m+1} - k'^{m+1}) + \frac{(n'_1 + 1) \cdot (2n'_1 + 1) \cdot n_1^{m-1} - (k' + 1) \cdot (2 \cdot k' + 1) \cdot k'^{m-1}}{6} + n'] + 2 \cdot Z \left(\frac{G''_{ce}}{u_{tc}} \right)^m \cdot [a(n''_1^{m+1} - k''^{m+1}) + \frac{(n''_1 + 1) \cdot (2n''_1 + 1) \cdot n_1^{m-1} - (k'' + 1) \cdot (2 \cdot k'' + 1) \cdot k''^{m-1}}{6} + n''] \quad (22)$$

де: $n'_1 = n' + k'$; $n''_1 = n'' + k''$.

n' – кількість свічок у верхній секції бурильної колони; n'' – кількість свічок у нижній секції бурильної колони; G'_{ce} – вага свічки верхньої секції труб; G''_{ce} – вага свічки нижньої секції труб.

$$k' = \frac{G_{cs}'' \cdot n'' + G_{тс} + P}{G_{cs}'}; \quad k'' = \frac{G_{тс} + P}{G_{cs}'}. \quad (23)$$

Крім розрахункового методу визначення наробок каната при підйомі (спуску бурового інструменту) існують пристрої, що фіксують число згинань каната. На рис. 2 наведена схема пристрою для визначення наробки ділянки талевого каната.

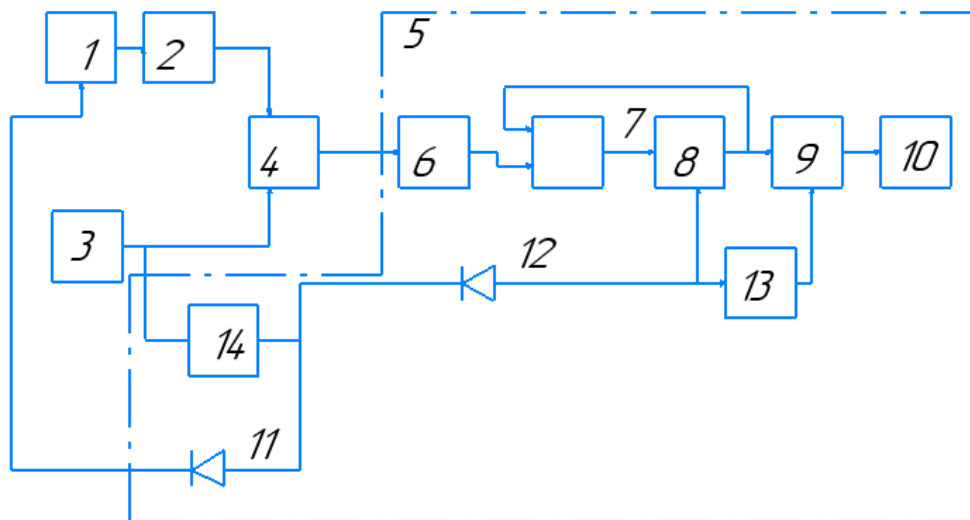


Рис. 2. Блок-схема пристрою для визначення наробки ділянки талевого канату

Пристрій складається із лічильника 1 числа згинань талевого каната, цифрового перетворювача 2, датчика 3 натягу, помножувача 4, лічильно-обчислювального блока 5, який складається із аналого-цифрового перетворювача 6, суматора 7, проміжкового 8 і основного 9 реєстрів, індикатора 10 результату, першого 11 і другого 12 діодів випрямлячів, інвертора 13 і диференціатора 14.

Пристрій працює наступним чином.

Цикл роботи пристрою визначається циклом навантаження – розвантаження талевого каната. Керування роботою пристрою здійснюється за допомогою диференціатора 14, випрямлячів діодів 11 і 12 та інвертора 13. На початку циклу роботи при навантаженні талевого каната позитивний перепад напруження на виході датчика 3 натягу подається на диференціатор 14 через діод 11 лічильника 1 скидає число згинань талевого каната до нуля.

При роботі пристрою цифровий код на виході лічильника 1 числа згинань каната поступає на вхід цифроаналогового перетворювача 2. В помножувачі 4 відбувається перемноження величини натягу, який фіксується датчиком 3 натягу, і числа згинань талевого каната. Результат на виході помножувача 4, в аналоговому вигляді, поступає на вхід аналого-

цифрового перетворювача 6, цифровий код із виходу якого подається на перший вхід суматора 7. В останньому відбувається складення поточного значення ресурсу наробки талевого каната із загальною величиною ресурсу наробки, що зберігається у вигляді коду в основному реєстрі 9.

При розвантаженні талевої системи на виході диференціатора 14 появляється від'ємний імпульс, який через діод 12 проводить запис інформації на виході суматора 7 у проміжний реєстр 8. Цей же імпульс, що проходить через інвертор 13, забороняє прийом коду в основний реєстр 9. Після закінчення дії імпульсу забороняється прийом інформації у проміжний реєстр 8 і реєстр 9. Вміст основного реєстра 9 поступає на суматор 7 і індикатор 10 результату, який відображає сумарну величину наробки ділянки талевого каната.

При наступному навантаженні талевої системи лічильник 1 скидає число згинань талевого каната і цикл роботи пристрою повторюється.

Пристрій забезпечує підвищення ефективності за рахунок визначення наробки ділянки талевого каната у вигляді добутку натягу каната на число згинань, внаслідок чого збільшується питома працездатність каната при експлуатації з перепуском, тобто кожна ділянка, яка відрізається після наступної перепуски, відпрацьовується до норм відбракування.

Висновки. Проведений всебічний аналіз методів визначення наробок талевих канатів під час спуско-підймальних операцій бурового інструменту дає можливість вибрати метод, який можна використати для створення або удосконалення пристрою для визначення наробки ділянки талевого канату, що підлягає найбільшому числу згинів.

Тільки при використанні пристрою для визначення величини наробки талевого каната можна отримати об'єктивну реальну інформацію про наробки талевого каната.

Література

1. Ефимченко С.И. Расчет и конструирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов. Часть 1. Расчет и конструирование оборудования для бурения нефтяных и газовых скважин. Учебник для вузов / С.И. Ефимченко, А.К. Прыгаев. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. Губкина, 2006. – 736 с.
2. Злобин Б.А. Скоростная проводка скважин и резервы новой техники / Б.А. Злобин. – М.: Надра, 1977. – 309 с.
3. Муравенко В.А. Мобильные, передвижные буровые установки и агрегаты / В.А. Муравенко, А.Д. Муравенко. – Ижевск: Изд-во ИжГТУБ, 2005. – 548 с.
4. Пат. 84910 С2 України МПК P01L 5/04 G01M 7/02 G01N 3/32 G01N 03/56. Пробіжна машина для випробовування канатів / Малько Б.Д., Харун В.Р., Лях М.М., Артим В.І.: Заявник та власник патенту: Івано-

- Франківський національний технічний університет нафти і газу - № 200609967; Заявн. 18.09.2006; Опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.
5. А. с. № 1271963 Оптимальная отработка талевих канатов на бурових скважинах / М.М. Лях, Т.М. Сабан, Ю.Н. Медвидь, А.М. Кравченко. – М.: ВНИИОЭНГ, 1985, с. 17 – 25.
6. Стандарт організації України. Установки бурові для експлуатаційного, розвідувального буріння та капітального ремонту свердловин. Канати талеві. Експлуатація. – К.: ДК «Укргазвидобування», 2008. – 23 с.
*Стаття надійшла до редакційної колегії 07.03.2018 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Петриною Д. Ю.,
к.т.н. Онищуком С. Ю.*

ANALYSIS OF METHODS OF DETERMINATION OF BURNING MACHINES

V. T. Ivashenko, M. M. Lyakh, D. Yu. Zhuravlev, V. V. Mykhajliv
*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivs'k, Carpathians str., 15*

The article analyses the basic methods for determining the usage of drilling wirelines during pulling-and-running operations while drilling and repairing oil and gas wells (descent and lifting of drilling tools, descent of the casings, descent and lifting of the pump-compressor pipes). The analytical dependencies of the determination of their usage on the basis of the number of bending cycles, the strength of the rope wire, the rope parts for the cycle of the downhill lifting of the drilling tool are discussed. The use of ropes according to the criteria of their rotation is estimated which makes it possible to predict the durability of the rope.

Key words: *drilling wireline usage, drilling tool, straight and deviated oil well, drill pipes candles.*