

# Аналіз моделей оцінки довговічності талевих канатів бурових установок

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.090>

Ярослав Гриджук  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу  
Івано-Франківськ, Україна  
jaroslav.gridzhuk@gmail.com

Андрій Михайлів  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу  
Івано-Франківськ, Україна  
Sergiy.mychajliuk@gmail.com

Роман Михайлів  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу  
Івано-Франківськ, Україна  
romanmy19@gmail.com

**Анотація** – Талеві канати є одними із найбільш навантажених елементів талевих систем вантажопідійомних машин та обладнання, зокрема, і бурових установок. Виконання спуско-підіймальних операцій та утримання бурильної колони в процесі буріння є основним призначенням талевих канатів, прогнозування довговічності яких забезпечує цикл безаварійної роботи бурової установки.

**Ключові слова** – бурова установка; довговічність; втома; згинальний момент; осьове навантаження; талевий канат; руйнування.

## I. ВСТУП

Під час експлуатації талевої системи канати зазнають дії розтягуючих та згинальних навантажень. Режими роботи канатів у складі талевої системи характеризуються високим рівнем низько- та високочастотних коливань і, як наслідок, значних динамічних навантажень. Дія знакозмінних згинальних моментів у перерізах канатів спричинюється великою кількістю перегинів їх віток на шківках талевої системи. Пряді талевих канатів є спіралеподібними елементами, що зазнають деформацій згину, кручення, розтягу і зминання, а у перерізах канатів виникають напруження овалізації та кручення. Зношування дротів прядей внаслідок тертя в місцях їх взаємного контактування, а також зношування зовнішніх елементів самого канату, що стикаються з поверхнею жолоба шківки та барабану, в достатній мірі теж можна віднести до втомних явищ. Перебуваючи впродовж всього терміну експлуатації під атмосферним впливом, талеві канати піддаються корозії, у результаті чого метал зазнає корозійно-втомних пошкоджень. Таким чином, дія знакозмінних навантажень та корозійні процеси призводять до появи й розвитку втомних та корозійно-втомних пошкоджень канатів, а за тривалої експлуатації в критичних моментах – до їх руйнування. Тому попередження таких негативних явищ можливе за наявності ефективної моделі оцінки їх довговічності.

## II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Напруження від розтягу та згину в перерізах канатів визначаються доволі точно. Що стосується визначення інших напружень та довговічності в цілому, то на даний час існує кілька моделей, які мають свої переваги та недоліки. Деякі актуальні аспекти довговічності сталевих канатів, питання зношування при різних умовах навантаження, наявності обірваних дротин, внаслідок поверхневого зношування розглянуті в роботах [1, 2]. Згідно деяких досліджень [3, 4] в процесі циклічних навантажень відбувається накопичення пластичних деформацій від циклу до циклу, причому закономірність накопичення деформації має монотонний характер. Довговічність в цьому випадку визначається із такого рівняння:

$$\sigma_0^m N_0 = \frac{\sigma_T e^{\alpha\sigma}}{CE} \left[ \ln\left(\frac{k}{1-k}\right) \left( \ln\left(\frac{W_*}{W_0} - 1\right) \right)^{-1} + 1 \right] \quad (1)$$

де  $\sigma_0$  – границя втоми матеріалу дротин;  $m$  – показник степеня рівняння кривої втоми;  $N_0$  – базове число циклів до руйнування;  $\sigma$  – середнє робоче напруження;  $\alpha$  – коефіцієнт середнього робочого напруження (для сталі  $\alpha = 0,5$ );  $\sigma_T$  – границя текучості матеріалу;  $C$  – константа матеріалу;  $E$  – модуль пружності матеріалу;  $W_* = W/k$ ;  $W$  – величина прихованої (латентної) енергії деформації при  $0 < k < 1$ ;  $W_0$  – величина прихованої енергії, розсіяної в матеріалі за цикл при напруженнях, рівних границі втоми.

Виходячи із сумісного виникнення напружень у дротинах від циклічного розтягу та згинання на шківках і барабані, що викликають руйнування талевого канату, довговічність дротин, які знаходяться у зовнішньому шарі каната, авторами [5] запропоновано визначати із наступної залежності:

$$\sigma_0^m N_0 \geq \sum_{n=1}^{n_{\max}} \left\{ \left( \frac{F_{m(n)}}{\sum A_i} + \frac{\delta \cdot E}{D_B + 2d_k} \right)^m + z_{\max} \left( \frac{F_{m(n)}}{\sum A_i} + \frac{\delta \cdot E}{D_{III} + 2d_k} \right)^m \right\} S_n, \quad (2)$$

де  $\sigma_0$  – границя втоми матеріалу дротин;  $m$  – показник степеня рівняння кривої втоми;  $N_0$  – базове число циклів до руйнування;  $n_{\max}$  – максимальне число свічок у бурильній колоні;  $F_{m(n)}$  – навантаження у ведучій вітці при підйомі бурильної колони із  $n$  свічок;  $\sum A_i$  – сумарна площа поперечного перерізу усіх дротин в канаті;  $\delta$  – діаметр дротини зовнішнього шару сталки;  $E$  – модуль пружності матеріалу дротин;  $D_B, D_{III}$  – діаметр барабана і шківів по дну жолоба відповідно;  $z_{\max}$  – максимальна кількість згинань, які має найбільш навантажена ділянка каната за один цикл спуску-підйому бурильної колони на висоту свічки;  $S_n$  – кількість спуско-підйомів.

Окрім номінальної міцності матеріалу дротин, номінального діаметра каната, авторами [6] при визначенні довговічності запропоновано враховувати також довжину пробігу каната по шківу:

$$\lg N = b_0 + \left( b_1 + b_4 \cdot \lg \frac{D_{III}}{d_k} \right) \left( \lg \frac{F_{\max}}{d_k^2} - 0,4 \cdot \lg \frac{\sigma_0}{1770} \right) + b_2 \cdot \lg \frac{D_{III}}{d_k} + b_3 \cdot \lg d_k + \frac{1}{b_5 + \lg \frac{l_{nk}}{d_k}}, \quad (3)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  – деякі константи (наприклад, для визначення кількості циклів до руйнування для канату конструкції Warrington-Seal 8×36 одностороннього звивання з металевим осердям мають наступні значення:  $b_0 = 1,381$ ;  $b_1 = 0,029$ ;  $b_2 = 6,241$ ;  $b_3 = -0,321$ ;  $b_4 = -1,613$ ;  $b_5 = 1,2$ ;  $\sigma_0$  – номінальна міцність дротини;  $F_{\max}$  – максимальна сила розтягу каната;  $D_{III}, d_k$  – діаметр шківів по дну жолоба та діаметр канату відповідно;  $l_{nk}$  – довжина пробігу каната по шківу.

Основним фактором, що лімітує довговічність талевого каната в моделях (1), (2), (3) є циклічно повторювані напруження згину в дротах каната при проходженні останнього через шківів талевого блоку й крон-блока та при навивці на барабан лебідки. Спільна дія напружень у дротинах від циклічно повторюваного осьового навантаження

розтягу і від вигину на шківів та барабані викликають втому й зношування дротин, що приводить до їхнього руйнування [7]. Окремої уваги заслуговують визначення довговічності талевих канатів з урахуванням фретинг-корозії [8]. У простих випадках осьові та згинальні напруження з достатнім ступенем точності можуть бути визначені аналітичними методами. Повну ж картину напружено-деформованого стану за умов фретинг-корозії та фретинг-зношування можливо оцінити з використанням чисельного аналізу.

### III. ВИСНОВКИ

Побудова адекватної моделі оцінки довговічності талевих канатів можлива при використанні аналітичних методів і чисельного аналізу із однієї сторони та різних моделей фретинг-зношування за експериментальними даними – з іншої. Це дозволить встановити залежності зношування й швидкості руйнування від кількості циклів навантаження каната, що у свою чергу дасть можливість спрогнозувати появу та розвиток критичних пошкоджень в канатах талевої системи й забезпечити їх нормування при заданих експлуатаційних умовах.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Chang X.-D. Experimental investigation of mechanical response and fracture failure behavior of wire rope with different given surface wear. *Tribol. Int.* Elsevier, 2018, vol. 119, pp. 208-221
- [2] Peng Y. The friction and wear properties of steel wire rope sliding against itself under impact load. *Wear.* Elsevier, 2018, vol. 400-401, pp. 194-206.
- [3] Грабовський А.П., Бабієнко І.І., Бондарець О.А. Кінетика накопичення пошкоджень при повторно-змінному осьовому навантаженні конструкційних матеріалів. Серія машинобудування. Вісник НТУУ “КПІ”, 2013. №3 (69) С. 18-23.
- [4] Гриджук Я.С. Кінетичний потенціал колони насосно-компресорних труб як енергетичний критерій втомної міцності її елементів. *Науковий вісник ІФНТУНГ.* 2015. №1(38). С. 70-76.
- [5] Івашенко В.Т., Лях М.М., Журавльов Д.Ю., Михайлів В.В. Фактори, що впливають на вихід з ладу талевого канату бурових установок. *Прикарпат. вісн. НТШ.* 2017. № 2. С. 292-300.
- [6] Chen Y., Meng F., Gong X. Interwire wear and its influence on contact behavior of wire rope strand subjected to cyclic bending load. *Wear.* Elsevier, 2016, vol. 368-369. pp. 470-484.
- [7] M. Young, “The Technical Writer's Handbook. Mill Valley,” CA: University Science, 1989.
- [8] Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Динамічна оптимізація механізму підйому вантажу мостових кранів. Монографія. К.: ЦП „Компрінт”, 2015. 197 с.
- [8] Waterhouse R. B. *Fretting Corrosion.* Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig : Pergamon Press, 1972. 253 p.