

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВТОМНОГО ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ПІД ЧАС СПУСКО-ПІДНІМАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ

В.О. Осадця

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42002,
e-mail: public@nimg.edu.ua*

Проведено оцінку експлуатаційної навантаженості бурильної колони під час спуско-піднімальних операцій. Відмічено вирішальний вплив на довговічність розсіяння початкової границі витривалості бурильних труб і замкових з'єднань бурильної колони та її поступового зниження до рівня експлуатаційної навантаженості через накопичення корозійно-втомного пошкодження циклічними напруженнями з еквівалентними амплітудами, нижчими за фактичну початкову границю витривалості.

Ключові слова: бурильна колона, навантаження, спуско-піднімальні операції, втомне пошкодження

Проведена оценка эксплуатационного нагружения бурильной колонны при спуско-подъемных операций. Отмечено решающее воздействие на долговечность рассеяния начальной границы выносливости бурильных труб и замковых соединений бурильной колонны и ее постепенного снижения к уровню эксплуатационного нагружения в результате накопления коррозионно-усталостного повреждения посредством циклических напряжений с эквивалентными амплитудами, ниже фактической начальной границы выносливости.

Ключевые слова: бурильная колонна, нагружение, спускоподъемная операция, замковое соединение

The appraisal of a production loading of a drill column during tripping has been held. Solving affecting on longevity of diffusing of original boundary of fatigue of drill pipes and joints of a drill column and its gradual decrease to level of a production loading because of accumulation of a corrosion-fatigue fault by cyclic stresses with equivalent amplitudes, the lowest for actual original boundary of fatigue, has been noted.

Keywords: drill column, loading, tripping, joint

Сучасні тенденції розвитку нафтогазової галузі полягають у збільшенні об'ємів похило скерованого буріння та середніх глибин свердловин. Це призводить до ускладнення умов експлуатації бурильної колони і, як наслідок, до підвищення імовірності її відмов та створення аварійних ситуацій.

З ростом глибини свердловини різко збільшується об'єм спуско-піднімальних операцій (СПО). Так, у процесі буріння глибоких свердловин тривалість СПО складає більшу частину (до 60 %) від загального виробничого часу і перевищує час механічного буріння в 3-3,5 рази, за весь період буріння свердловини глибиною 4500-5000 м опускається і підіймається 50000-80000 свічок [1].

Як відомо, навантажування бурильної колони (БК) під час спуско-піднімальних операцій характеризується великою складністю. Крім динамічної складової від неусталеного періодичного руху, присутні випадкові коливання при ковзанні ділянок колони по обсадних трубах та по не обсаджених стінках свердловини. Точні значення та характер напружень, які діють на колону під час СПО, особливо на похило-скерованих ділянках, повністю не вивчені до сьогоднішнього часу [2].

Циклічне навантаження під час СПО закономірно призводить до накопичення втомних пошкоджень бурильних труб (БТ) і їх з'єднань. Це підтверджує і аналіз аварійності, який показує значну кількість руйнувань колони у верхній частині [2]. Аварії трапляються навіть під час встановлення БТ за палець на поверхні (наприклад, під час буріння свердловини 308-

Битків Надвірнянського управління бурових робіт) [3].

Довговічність бурильної колони залежить від довговічності окремих труб, які її складають. Залежно від розміщення труби в колоні, вони сприймають різні за величиною та характером напруження. Таким чином, при визначенні довговічності БК необхідно враховувати розміщення труб в колоні, характер і рівень навантажування, який діє на кожен ділянку колони.

Тому метою даної роботи є розроблення методики розрахунку накопичення втомних пошкоджень окремою трубою за одну операцію піднімання-опускання БК при визначеній довжині колони L та довжині БК l над трубою, для якої проводиться розрахунок.

Оскільки операції опускання та піднімання БК на однакову глибину принципово не відрізняються за своєю структурою, то доцільно дослідити один процес, наприклад, опускання, а потім апроксимувати отримані залежності і на другий (піднімання).

Проаналізуємо процес опускання БК з точки зору накопичення втомних пошкоджень $Z_{\text{сум}}$ окремою трубою. Нехай труба розміщена на відстані l від устя свердловини. Тоді на неї буде діяти така кількість блоків напружень при опусканні окремих свічок БТ

$$n = \frac{l}{l_{\text{св}}}, \quad (1)$$

де: $l_{\text{св}}$ – довжина свічки труби; n – найближче більше ціле число.

Згідно з лінійним правилом підсумовування втомних пошкоджень загальне пошкодження труби $Z_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n Z_i$. Головною проблемою є визначення значень Z_i . У загальному випадку Z_i залежить від великої кількості параметрів опору втомі самої труби та динаміки НДС, які переважно мають випадковий характер. Слід також мати на увазі, що НДС труб під час СПО характеризується накладенням на високі статичні напруження розтягнення циклічних випадкових напружень, спричинених інерційними силами колони та можливим аварійним прихопленням та затягуванням елементів БК.

Методику визначення Z_i у загальній формі без урахування випадкових прихоплень та затягувань пояснимо на прикладі аналізу експериментальних даних динаміки зусиль на гаку при опусканні БК, наведених у [4].

Обробку результатів експерименту проводимо в такій послідовності.

По-перше, слід перевести силу розтягу до напружень у визначеному поперечному перерізі БК.

Проведений аналіз засвідчив, що небезпечним елементом у даному випадку є різьбове з'єднання 3-147, границя витривалості якого в корозійному середовищі за згину $\sigma_{-1\text{зг}} = 35$ МПа [2]. Користуючись відомою залежністю для границі витривалості за розтягу $\sigma_{-1\text{р}}$ [5]

$$\sigma_{-1\text{р}} = 0,7 \dots 0,8 \cdot \sigma_{-1\text{зг}},$$

отримаємо $\sigma_{-1\text{р}} = 24,5$ МПа.

Тарувальний коефіцієнт K визначаємо за рівнянням

$$\sigma = \frac{F}{A} = K \cdot F,$$

де: σ – напруження, F – зусилля, A – площа небезпечного перерізу.

При визначенні напружень у МПа і зусиль у кН для з'єднання 3-147 отримуємо $K = 0,06$.

Наступним важливим етапом обробки є схематизація процесів навантажування БК у небезпечному перерізі під час СПО, тобто виділення усіх пошкоджуючих циклів напружень. Схематизацію випадкових процесів навантажування доцільно проводити згідно з методикою, викладеною в [5]. Її перевагою є те, що в результаті отримуємо блоки циклів навантаження у вигляді двопараметричного списку $\{\sigma_{ai}, \sigma_{mi}\}$. Це дає можливість урахувати асиметрію циклів навантаження, яка під час СПО приймає великі значення. Так, у нашому випадку слід відмітити високі коефіцієнти асиметрії схематизованого процесу, які перевищували $R=0,5$ для циклів навантажування при довжинах БК 190 і 500 м, а при довжині колони 1570 м перевищували 0,7.

Урахування асиметрії здійснюємо шляхом приведення усіх виділених циклів напружень до симетричного циклу згідно з методикою, наведеною в [5]. Це дає можливість звести двопараметричний ряд циклів напружень до екві-

валентного за пошкоджуючою дією однопараметричного у формі $\{\sigma_{ai}, \sigma_{mi} = 0\}$.

Для приведення усіх виділених амплітуд до симетричного циклу згідно з [5] необхідно знати ще такі параметри: V_1, V_2, σ_0 .

Експериментальні результати для сталі 40ХН, з якої виготовлено замок: $V_1=54,91$ МПа, $V_2=29,82$ МПа, $\sigma_0=40,7$ МПа [79].

Використавши ці дані, привели асиметричні цикли до симетричних блоків навантажування.

Приведені блоки навантажування звели у варіаційні ряди і апроксимували їх розподілом Вейбула, який рекомендується для опису приведених блоків навантажування (рис. 1...3).

Таким чином, після аналізу експериментальних досліджень ми маємо варіаційні ряди, апроксимовані з допомогою розподілу Вейбула для довжини свердловини $L=190, 500$ і 1570 м. З їх допомогою ми маємо змогу знайти Z_i при $0 < L \leq 2000$ м.

$$Z_i = \sum_{j=1}^{i=k} \frac{1}{N_j}, \quad (2)$$

де: $N_j = f(\sigma_j)$ – кількість циклів до руйнування при напруженні σ_{j_0} ; j – номер у варіаційному апроксимованому для L ряді напружень; k – номер ряду, для якого ще справджується залежність $\sigma_k \geq \sigma_{-1}$.

Інші значення Z_i ($i=2 \dots n$) знаходять за такими ж рівняннями, враховуючи аналітичні залежності, виведені для побудови варіаційних рядів напружень

$$\sigma_{ij} = f\left(\sigma_{1j}, \frac{il_{\text{сг}}}{L - L_{\text{НК}}}\right), \quad (3)$$

де $L_{\text{НК}}$ – довжина обваженої частини колони.

Тоді загальна формула для визначення пошкодження має вигляд

$$Z_{\text{сум}}(l, L) = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k \frac{1}{N_{ij}}. \quad (4)$$

Для процесу піднімання функція матиме такий же вигляд, але значення N_{ij} будуть залежати від динаміки піднімання.

Цінність рівняння (4) полягає в тому, що за його допомогою можна оцінити не лише середнє значення накопичення пошкодження, але й проводити статистичну оцінку довговічності. Для цього потрібно задаватися імовірнісними параметрами розподілів напружень (наприклад, розподіл Вейбула) та границі витривалості труби (нормальний розподіл).

Необхідність такого статистичного аналізу є очевидною через велику кількість небезпечних перерізів елементів БК, розподілених по її довжині, та блоків навантажування під час СПО. Тому для надійної експлуатації БК слід керуватися не середньою імовірністю, а значеннями 0,1 і менше.

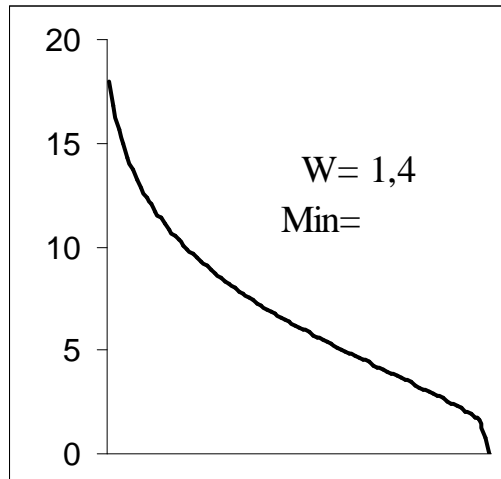


Рисунок 1 – Варіаційний ряд блоку навантаження при опусканні БК (L=190 м)

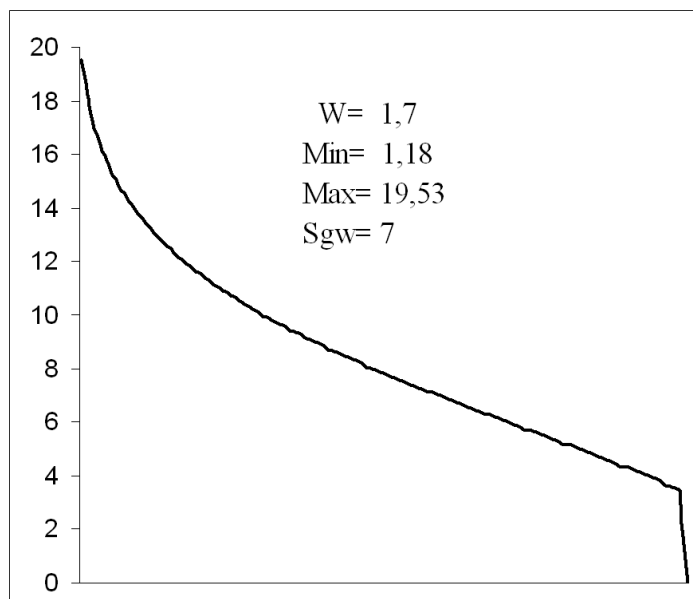


Рисунок 2 – Варіаційний ряд блоку навантаження при опусканні БК (L=500 м)

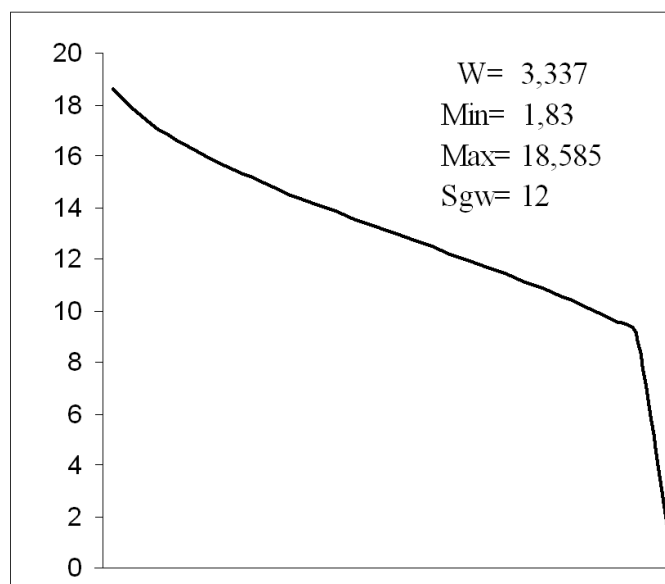


Рисунок 3 – Варіаційний ряд блоку навантаження при опусканні БК (L=1570 м)

Знаючи параметри рівняння (4), можна оцінити накопичене пошкодження окремих труб БК при бурінні свердловини довжиною L . Для цього необхідно знати кількість СПО n та довжини L_i ($i=1..n$) у процесі буріння. Для визначення n і L_i можна скористатися як промисловими результатами, так і емпіричними залежностями, наприклад, у формі [2]

$$n = L^e \cdot B, \quad (5)$$

де: n – кількість СПО при бурінні свердловини довжиною L ;

e і B – емпіричні коефіцієнти, які залежать від геологічних умов свердловини.

Такі розрахунки доцільно проводити для прогнозування довговічності та залишкового ресурсу бурильних труб, а також для порівняльних розрахунків ступеня втомного пошкодження БК по її довжині.

Усі приведені напруження є нижчими за σ_{-1} , але при $L=1580$ м вони вже близькі до $0,9 \sigma_{-1}$, що вказує на необхідність їх урахування в процесі втомного пошкодження, під час якого границя витривалості значно зменшується [79, 134, 248]. Суттєвим чинником є також експериментально доведений факт значного розкиду і самої границі витривалості для замкових різьб [79, 80], що в умовах великої кількості таких з'єднань в БК неминуче призводить до високої імовірності наявності в БК з'єднань із значеннями σ_{-1} , меншими за еквівалентні максимальні напруження вже при $L=500$ м. Оцінку імовірності наявності таких небезпечних з точки зору втомного руйнування при СПО можна провести, знаючи статистичний розподіл значень σ_{-1} за експериментальними дослідженнями.

Під час прихоплення приведені амплітуди напружень перевищують відповідні границі витривалості елементів колони вже при довжині 500 м. Тому не менш важливою причиною необхідності урахування динамічних напружень під час СПО є можливість початкового накопичення втомних пошкоджень у випадку значних перевантажень БТ при підніманні, які пов'язані з прихопленням БК (обвали, випучування, т.п.). Такі перевантаження можуть призвести до появи "пікових" навантажень і значного зменшення границі витривалості для усіх БТ і з'єднань, розміщених вище зони прихоплення.

Наступні дослідження будуть спрямовані на дослідження закономірностей впливу перевантажень під час СПО на втомну довговічність елементів колони.

1 Лачинян Л.А. Работа бурильной колонны / Л.А.Лачинян – М.: Недра, 1979. – 207 с.

2 Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посіб. / Під заг. ред. В.В.Панасюка. – К.: Наук. думка, 1988. – Т. 10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання / Під ред. В.І. Похмурського, Є.І. Крижанівського. – Львів – Івано-Франківськ: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2006. – 1193 с.

3 О накоплении усталостных повреждений в бурильной колонне / Л.М. Алексеева, Ю.С. Васильев, Л.Е. Исаченко и др. // Нефтяное хозяйство. – 1976. – № 2. – С. 34-35.

4 Артим В.І. Оцінка навантаженості бурильної колони під час спуско-піднімальних операцій / В.І.Артим // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 4. – С. 26-32.

5 Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В.П.Когаев. – М.: Машиностроение, 1993. – 364 с.

6 Крижанівський Є.І. Схематизація випадкового навантажування методом вкладених циклів / Є.І.Крижанівський, В.М.Івасів, В.І.Артим // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2002. – № 2. – С.47-54.

7 Івасів В.М. Урахування напружень низького рівня при розрахунках довговічності деталей машин / В.М. Івасів, В.І.Артим, П.В.Пушкар, О.М.Козак // Машинознавство. – 2003. – № 12. – С. 17-20.

8 Расчеты и испытания на прочность. Анализ эксплуатационной нагруженности в связи с оценкой долговечности при случайном нагружении. – МР 75-85. – М.: ГОНТИ, 1985. – 127 с.

9 Почтенный Е.К. Кинетика усталости машиностроительных конструкций / Е.К. Почтенный. – Мн.: УП «Арти-Фекс», 2002. – 186 с.

10 Івасів В.М. Методи та засоби управління бурильною колоною для забезпечення її надійності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.12 "Машини нафтової та газової промисловості" / В.М. Івасів. – Івано-Франківськ, 1999. – 31 с.

11 Івасів В.М. Порівняльна оцінка втомної міцності різьбових з'єднань бурильних труб // Розвідка та розробка нафтових і газових свердловин / В.М. Івасів. – 1996. – Вип. 33. – С. 58-59.

Стаття надійшла до редакційної колегії 09.06.11

Рекомендована до друку професором Івасівим В.М.