

ВПЛИВ ЛОКАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

В.І.Артим, Р.В.Рачкевич, В.В.Гриців, С.І.Гладкий

*ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42002,
e-mail: vaxa_drill@mail.ru*

Розглянуто метод прогнозування довговічності різьбових з'єднань бурильних труб. В якості аргументів функції залишкового ресурсу використано максимальні локальні напруження в різьбі і ступінь її пошкодження.

Рассмотрен метод прогнозирования долговечности резьбовых соединений бурильных труб. В качестве аргументов функции остаточного ресурса использовано максимальные локальные напряжения в резьбе и степень ее повреждения.

In paper the method of drill pipes threaded connections longevity prediction is observed. In the capacity of residual resource function arguments it is used the maximum local stresses in a thread and extent of its damage.

Частка видобування власної вуглеводневої сировини Україною становить близько 10% нафти та 25% газу від загальної потреби. Такі показники спонукають як до суттєвого приросту темпів освоєння нових родовищ так і до збільшення дебітів вже існуючих. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є збільшення обсягів похило-скерованого та горизонтального буріння, що невід'ємно пов'язано із збільшенням втомних відмов елементів бурильної колони.

Дані досліджень проведених компанією T. N. Hill Associates, свідчать, що близько двох третіх всіх відмов (66%) бурильної колони відбулося через втомний знос [5]. Дослідження проводилися на свердловинах в американській зоні Мексиканської затоки, де протягом шести днів зафіксовано багато поломок, причиною яких є втомне руйнування. Із числа втомного руйнування слід звернути увагу на руйнування, що відбуваються в місцях найбільшої концентрації напружень – різьбових з'єднаннях, адже згідно проведених досліджень різних науковців найбільший відсоток поломок відбуваються саме в цих місцях. І тому в даній роботі проведено дослідження втомного руйнування в області різьбового з'єднання, як основної причини поломки бурильних труб.

Слід зазначити, що природа втомних процесів вивчена ще недостатньо. Тому переважна більшість методів прогнозування залишкового ресурсу деталей за змінних навантажень носить емпіричний характер. Так, широкого поширення набула методика побудови кривих втомної довговічності для певної вибірки однотипних деталей, яка дає можливість встановити емпіричну залежність кількості циклів навантаження до руйнування від нормального напруження у небезпечному перерізі [1, 2]. В цих же роботах на основі експериментів встановлено залежність між довговічністю замкових різьбових з'єднань бурильних труб та ступенем пошкодження їх небезпечного перерізу (G-критерій). Даний метод можна перспективно використо-

увати для прогнозування довговічності елементів бурильної колони на основі їх дефектоскопічного обстеження. В роботі [3] обґрунтовано можливість використання С-критерію для прогнозування довговічності різьбових з'єднань бурильних труб. Основи цього методу об'єднують в собі переваги вищезазначених підходів. В даному випадку на основі лабораторних досліджень вибірки однотипних деталей встановлюється емпірична залежність між їх довговічністю та ступенем пошкодження і нормальним напруженням у небезпечному перерізі.

Проте відомо, що геометричні параметри деталей призводять до концентрації напружень у певних зонах небезпечного перерізу. Іноді локальні напруження біля концентраторів у декілька раз перевищують номінальні величини. Зокрема, різьби у бурильних трубах є потужними концентраторами, що є причиною їх втомного руйнування. Тому представляє інтерес вивчення взаємозв'язку довговічності деталі саме із локальними напруженнями у небезпечному перерізі поблизу концентратора.

Для вивчення даного явища нами використано результати лабораторних досліджень довговічності різьбових з'єднань бурильних труб СБТ-50 (матеріал – сталь 36Г2С) [3]. В роботі проведено оцінку залишкового ресурсу бурильних труб за допомогою С-критерію [4]

$$\frac{N_T}{N} = \frac{C}{C_0} = \frac{\left| \ln \left[1 - \exp \left(- \frac{D}{1-D} \frac{\sigma_{\max}}{f} \right) \right] \right|}{\left| \ln \left[1 - \exp \left(- \frac{D_0}{1-D_0} \frac{\sigma_{\max}}{f} \right) \right] \right|}, \quad (1)$$

де: N_T – поточна кількість циклів навантаження;

N – кількість циклів навантаження до руйнування;

C – поточне значення С-критерію;

C_0 – початкове значення С-критерію;

D – поточний ступінь пошкодження небезпечного перерізу;

σ_{\max} – максимальне напруження експлуатаційного циклу навантаження;

D_0, f – відповідно початковий ступінь пошкодження небезпечного перерізу та параметр, який має розмірність напруження. Дані величини приймаються незмінними для певної вибірки однотипних об'єктів.

Для визначення величини С-критерію у формулу (1) підставлялися величини максимальних нормальних напружень, що були визначені з використанням моделі пустотілого циліндра із еліптичною тріщиною. При значеннях згинального моменту 743,4; 788,6; 768,8 та 708,04 Н·м отримали відповідні значення напружень 87,5; 92,8; 90,4 та 83,3 МПа. Використовуючи ці ж величини згинальних моментів, було визначено напруження у різьбовому з'єднанні СБТ-50 з використанням методу скінчених елементів, реалізований у програмному комплексі ANSYS.

На рисунку 1 (а, б, в, г) зображено один з варіантів моделювання СБТ-50 за допомогою Workbench DesignModeler з подальшим нанесенням градки, що дало можливість визначити напруження у будь-якій точці моделі за заданих умов. Граничні умови для моделювання вибиралися аналогічно проведеному експерименту [3], тобто одна сторона жорстко закріплювалася, а до іншої прикладалася згинаюча сила рис. 1 (а).

Для розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) різьбового з'єднання використовуються тривимірні (3D) елементи SOLID 187 (об'ємного НДС з десятьма вузлами у формі тетраедра), CONTA 174 (елемент для моделювання контактної взаємодії типу поверхня з поверхнею), TARGE 170 (для зв'язку з контактними елементами CONTA 174), SURF 154 (для моделювання різноманітних навантажень та ефектів, які прикладаються до поверхні) та пружний демпфер COMBIN 14 (для моделювання повздовжніх і крутних властивостей). На рисунку 1(б) зображено розбиття геометричної моделі на кінцеві елементи. На рисунку 1(в, г) зображено результати розрахунку напружено-деформованого стану розрахункової моделі, а також місце виникнення локального напруження, яке і призводить до зародження, поширення тріщини, а в подальшому до руйнування колони БТ. В результаті скінченноелементного аналізу визначили наступні значення локальних напружень для кожного експериментального зразка: 352,1; 357; 384,1 та 360,4 МПа.

Далі, для експериментальних зразків, розраховували коефіцієнт концентрації напружень за формулою

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_K}{\sigma}$$

де: σ_K – напруження у певній точці небезпечного перерізу за наявності концентратора;

σ – напруження у тій же точці небезпечного перерізу за відсутності концентратора.

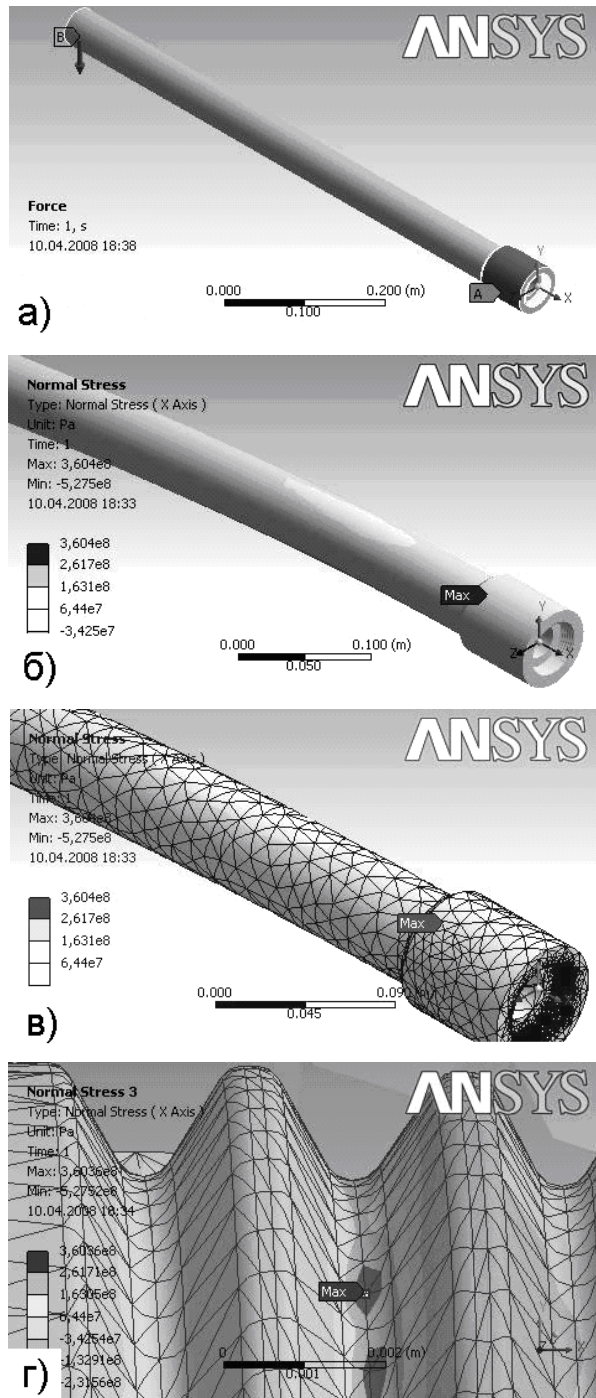


Рисунок 1 – Розрахунок напружено-деформованого стану різьбового з'єднання СБТ-50

Використовуючи величину K_{σ} , здійснили перерахунок діапазону зміни нормальних напружень для кожного експериментального зразка (табл. 1).

Далі, за методикою, описаною у [3], було визначено початкові значення С-критерію, початковий ступінь пошкодження бурильних труб $D_{0, БТ}$ та параметр f (див. табл. 1). Залежності величини С-критерію від відносного напруження з використанням локальних напружень у різьбовому з'єднанні зображено на рисунку 2.

Таблиця 1 — Результати обробки експериментальних даних

Номер зразка	1	3	4	8
Діапазон зміни локальних напружень в циклі навантаження, МПа	353,5 – 434,7	377,4 – 667	389,6 – 501,5	380,9 – 568,1
Початкове значення С-критерію	14,5	11,2	11,8	16,5
Початковий ступінь пошкодження D_{0BT}	0,121·10 ⁻⁴			
Величина параметра f , МПа	211			

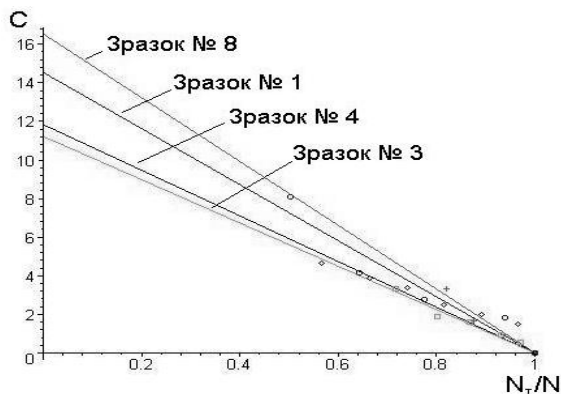


Рисунок 2 – Залежності С-критерію від відносного напруження

Для оцінки взаємозв'язку між величиною С-критерію та N_T/N було визначено коефіцієнт кореляції за формулою

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{xy}} x_j y_j - \frac{1}{n_{xy}} \sum_{j=1}^{n_{xy}} x_j \sum_{j=1}^{n_{xy}} y_j}{\left(\sum_{j=1}^{n_{xy}} x_j^2 - \frac{1}{n_{xy}} \left(\sum_{j=1}^{n_{xy}} x_j \right)^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{j=1}^{n_{xy}} y_j^2 - \frac{1}{n_{xy}} \left(\sum_{j=1}^{n_{xy}} y_j \right)^2 \right)^{1/2}}$$

де: x – часткові значення аргументу;
 y – відповідні їм часткові значення функції;
 n_{xy} – кількість пар дискретних значень функції та аргументу.

Приймаючи в якості аргументу відносне напруження, а в якості функції відповідні дискретні значення С-критерію отримано наступний результат $\sigma_{N_T/N, C} = 0,973$. Аналогічний коефіцієнт, який було отримано у роботі [3], становить 0,97. Таким чином, розроблено математичну модель різьбового з'єднання СБТ-50 у Workbench DesignModeler. За допомогою моделі проведено розрахунки напружено-деформованого стану з'єднання в ANSYS. Результати свідчать, що вдосконалений нами метод визначення довговічності бурильних труб на основі С-критерію має більшу точність. Про це свідчить більше числове значення коефіцієнта кореляції, в порівнянні з запропонованим методом, який розглядається в роботі [3], де впливом локальних напружень на руйнування знехтувано. І тому можна стверджувати, що довговічність різьбових з'єднань значною мі-

рою залежить від локальних напружень поблизу концентраторів, які, в більшості випадків, і є причиною втомного руйнування. Тому теоретичні і експериментальні дослідження в даному напрямку заслуговують більш детальної уваги. На нашу думку, це призведе до більш точного прогнозування довговічності та залишкового ресурсу різьбових з'єднань і, як наслідок, до зменшення можливих ускладнень та аварій під час спорудження свердловини.

Література

- 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.
- Крыжановский Е.И. Исследование и повышение сопротивления усталости бурильных колонн при вращательном бурении скважин: Автореф. дис... д-ра. техн. наук: 05.15.07 / Моск. инс. нефти и газа. – М., 1991. – 35 с.
- Рачкевич Р.В. Прогнозування довговічності бурильної колони в ускладнених умовах буріння свердловини: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.12 «Машини нафтової та газової промисловості» / Р.В. Рачкевич. – Івано-Франківськ. – 2006. – 20 с.
- Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей / Е.К. Почтенный. – Минск: Наука и техника, 1983. – 246 с.
- Достижения в проектировании бурильной колонны с учетом усталостного износа: теория коэффициента кривизны и иллюстративный пример / К.Джейсон, Н. Рейнольдс, Ш. Сллис [та ін.] // Нефтегазовые технологии. – 2004. – №3. – С.16-18.

Стаття поступила в редакційну колегію
 27.01.09

Рекомендована до друку професором
Івасівим В.М.