

ОЦІНКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

М.В. Лисканич, Я.С. Гридзук, Б.Д. Борисевич
ІФНТУНГ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019,
тел. (03422) 42331, e-mail: public@ifdtund.if.ua

Предлагается математическая модель расчета на усталостную прочность элементов бурильной колонны под действием двухкомпонентной сменной нагрузки. При оценке усталостной долговечности элементов бурильной колонны учитывается не только влияние сменных изгибающих нагрузок, но и вибрация бурильной колонны с произвольной формой спектральной плотности.

Точність оцінювання втомної міцності елементів бурильної колони визначається трьома основними чинниками: точністю визначення режимів навантаження, отриманих розрахунковим способом або за результатами експериментальних досліджень; статистичними даними про характеристики міцності елементів колони, отриманими за матеріалами стендових досліджень; відповідністю математичної моделі розрахунку фізичному процесу втомного пошкодження [1]. Не зупиняючись в роботі на труднощах технічного та економічного плану, що впливають на точність визначення в стендових умовах втомних характеристик міцності елементів колони і на точність визначення діючих на них при бурінні свердловин реальних навантажень, визначимо наскільки обґрунтовані існуючі математичні моделі розрахунку обмеженої довговічності елементів колони.

На даний час моделі розрахунку на втомну міцність елементів колони носять феноменологічний характер і розроблені для регулярних синусоїдальних [2], або нерегулярних навантажень [3, 4]. В елементах бурильної колони домінує двокомпонентне змінне навантаження [5]. Однією складовою є низькочастотні коливання, які виникають внаслідок впливу на колону зовнішніх кінематичних і геометричних чинників, другою - високочастотна складова, що викликана пружними коливаннями колони, які супроводжують процес руйнування породи. Ці складові діють одночасно на елементи бурильної колони впродовж всього процесу буріння свердловини. В існуючих математичних моделях розрахунку елементів колони на міцність і надійність приймається, що низькочастотна складова навантаження носить детермінований характер і виражається

The mathematic model of calculation of tiredness strong elements of bore column under action of two-components changing load has been proposed. By valuation of tiredness long eternal elements of bore column not only influence of changing bending load, is taken into consideration but vibration bore column with any form spectrum density is considered.

регулярним [2] або нерегулярним [3] згинальним моментом, а високочастотною складовою, тобто вібрацією бурильної колони, нехтується. Ці моделі розрахунку розроблені достатньо повно і доволі успішно використовуються в розрахунках на втомну міцність елементів бурильної колони при бурінні похилих або горизонтальних свердловин.

Практика буріння свердловин засвідчує, що при інтенсивних вібраціях бурильної колони мають місце втомні руйнування її елементів навіть в умовно вертикальних свердловинах [5], де за розрахунками на втомну міцність за методиками, приведеними в [2, 3], вони повинні бути відсутні. Промислові дослідження вібрацій бурильної колони доводять, що вони є випадковими процесами. Використовуючи теорію випадкових процесів [6], експериментально встановлено, що вібрацію бурильної колони можна вважати нормальним стаціонарним ергодичним процесом [5].

При розробці математичної моделі розрахунку елементів бурильної колони на міцність опору втомі під дією двокомпонентного змінного навантаження виходимо з енергетичної уяви про природу втомного руйнування елемента колони внаслідок поглинання ним граничної кількості енергії [6, 7]. Припускаємо, що елементи бурильної колони є монолітні, і вся енергія витрачається на деформацію об'єму матеріалу в зоні концентратора напруги елемента. Розсіювання енергії зумовлене, в основному, мікропластичними деформаціями окремих зерен, що виникають внаслідок неоднорідності напруг мікрооб'ємів матеріалу елемента колони [7].

Опускаючи в роботі доведення, що опирається на теорію ймовірності і теорію випадкових функцій [1, 6, 7], приведемо формулу,

за якою обчислюється час напрацювання T такого елемента бурильної колони як різьбове з'єднання до втомного руйнування під дією двокомпонентного змінного навантаження

$$T = (a_p \cdot c) \times \left\{ \int_{\beta \cdot M_{cp}}^{M_{max}} M_{a_i}^m p(M_{a_i}) dM_{a_i} + \frac{W}{k} \cdot 2^{\frac{m}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{m+2}{2}\right) \left[2 \int_0^{\infty} f^{\frac{m}{2}} \cdot S(f) \cdot df \right]^{\frac{m}{2}} \right\}^{-1} \quad (1)$$

де: M_{a_i} - амплітуда змінного згинального моменту; $p(M_{a_i})$ - густина ймовірності розподілу амплітуд M_{a_i} ; M_{cp} - межа витривалості різьбового з'єднання; M_{max} - максимальна амплітуда в масиві нерегулярних змінних згинальних моментів; $\Gamma\left(\frac{m+2}{2}\right)$ - гамма-функція Ейлера;

$S(f)$ - спектральна густина високочастотних навантажень (вібрацій); m - показник степеня рівняння кривої втоми різьбового з'єднання; W - геометричний фактор розрахункової площі небезпечного перерізу різьбового з'єднання; k - коефіцієнт розподілу зовнішнього навантаження між елементами з'єднання; β - коефіцієнт, що враховує рівень навантажень, які впливають на втомне руйнування з'єднань, $\beta = 0,5 \dots 0,7$ [1]; a_p, c - відповідно коефіцієнт кореляції лінійної гіпотези сумування втомних пошкоджень та константа кривої втоми з'єднань.

Якщо двокомпонентний процес навантаження є сумою статистичних значень низькочастотних ступінчастих змінних згинальних навантажень та сукупністю дискретних вузькосмугових складових високочастотного навантаження, то формулу (1) можна записати у такому вигляді:

$$T = \frac{a_p \cdot c}{\int_{\beta \cdot M_{cp}}^{M_{max}} M_{a_i}^m \cdot t_i + \frac{W}{k} \cdot 2^{\frac{m}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{m+2}{2}\right) \left(\sum_{i=1}^n f_i^{\frac{m}{2}} S_{\sigma_i}^2 \right)^{\frac{m}{2}}} \quad (2)$$

де: t_i - частка числа циклів повторення амплітуди M_{a_i} за весь термін експлуатації елемента колони в свердловині до загального числа циклів навантаження; S_{σ_i} - середнє квадратичне

значення i -ої вузькосмугової складової з центральною частотою f_i .

За своєю структурою вирази (1), (2) збігаються з записом формули Майлса-Болотіна при $a_p = 1$ [4] для вузькосмугових процесів. Приймаючи, що свердловина умовно вертикальна, тобто нехтуючи першою складовою в знаменнику виразів (1), (2), проілюструємо вплив складових частот широкосмугового спектра напруг на довговічність елементів колони, взявши за приклад нормальний бірелеєвський спектр, що складається з двох нормальних релеевських вузькосмугових складових з середньоквадратичними значеннями S_{σ_1} , S_{σ_2} і центральними частотами f_1 , f_2 . Припускаючи, що енергетичний спектр вузькосмугового релеевського процесу зосереджений біля частоти f_1 згідно з (2), матимемо таке співвідношення довговічностей:

$$\frac{T_{\sigma.p}}{T_p} = \left\{ 1 + \eta^2 \left[\left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{\frac{2}{m}} - 1 \right] \right\}^{\frac{m}{2}} \quad (3)$$

де $\eta = \sqrt{\frac{S_{\sigma_2}^2}{S_{\sigma_1}^2}}$; $T_{\sigma.p}$ - довговічність при бірелеєвському процесі навантаження.

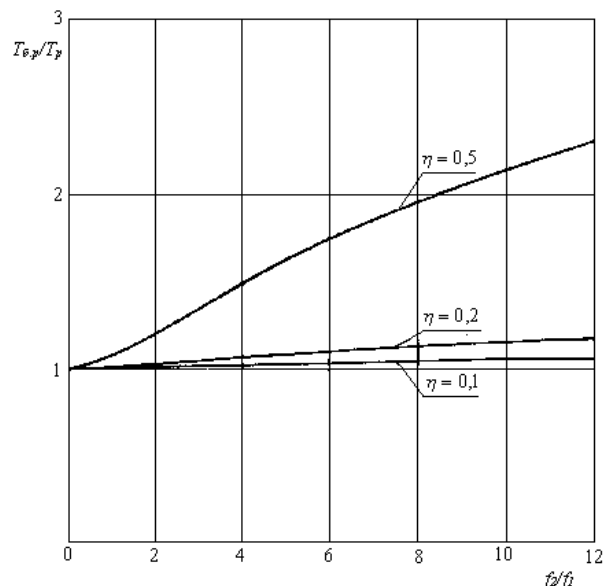


Рисунок 1 - Залежності співвідношення значень довговічності деталей від співвідношення центральних частот вузькосмугових складових випадкового процесу

В розрахунках приймаємо $m = 6$. Характер отриманої залежності (рис.1), показує, що високочастотні складові спектра напруг значно

знижують довговічність. Навіть порівняно невеликі частки дисперсії, що припадають на високочастотну область спектра, суттєво впливають на кількісну оцінку довговічності, в бік її зменшення, порівняно з оцінкою, отриманою для вузькосмугового процесу. Це відповідає відомим результатам експериментальних досліджень, проведених для деталей загального машинобудування [1, 4].

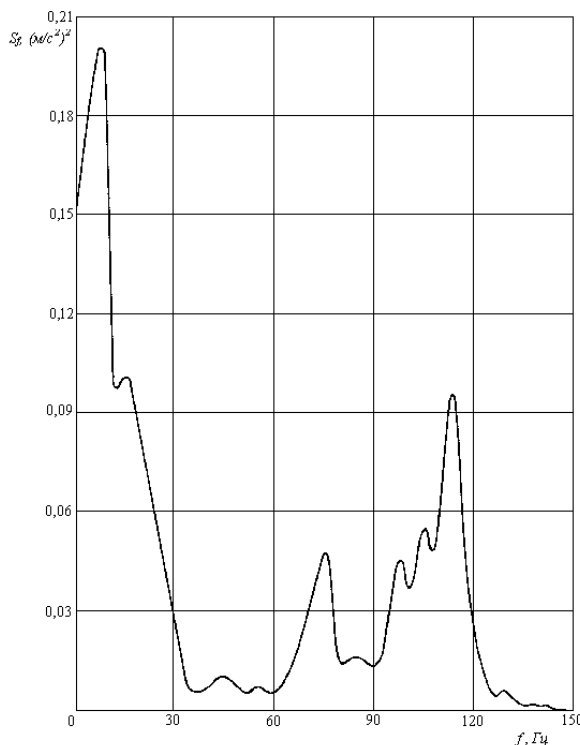
Отже, при визначенні довговічності елементів бурильної колони необхідно враховувати увесь спектр частот вібрацій бурильної колони, а не тільки найбільш енергоємкі частоти коливання (грунтового коливання), як це рекомендується в роботі [8].

Оцінимо на прикладі реального спектра вібрацій бурильної колони (рис.2) можливу похибку довговічності різьбових з'єднань. Енергія спектра розподілена в широкому діапазоні частот 0...150 Гц і сконцентрована в декількох порівняно нешироких сплесках, що відповідають першим гармонікам власних частот коливань колони. Як бачимо з діаграми спектральної густини, основна частка енергії спектра зосереджена на низьких частотах, зумовлених грунтовими коливаннями бурильної колони. Розрахунок за формулою (2) показав, що високочастотні складові спектра вібрацій знижують розрахункову довговічність різьбових з'єднань бурильної колони в чотири рази порівняно з розрахунками, що ґрунтуються на припущенні про вузькосмужність напруг і враховують лише низькочастотні коливання, в даному випадку тільки грунтового коливання.

Таким чином, оцінка втомної довговічності елементів бурильної колони за формулами (1), (2) дає змогу врахувати не тільки вплив змінних згинальних навантажень, але й вібрацій бурильної колони з довільною формою спектральної густини. Широка апробація на бурових підприємствах запропонованої математичної моделі дасть можливість цілеспрямовано впроваджувати техніко-технологічні заходи щодо зниження рівня вібрації до меж, які забезпечують достатній рівень міцності елементів колони.

Література

1. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени.- М.: Машиностроение, 1977.-232с.



роторне буріння, компоновка: долото 295, ЗСЗ-ГВ; ОБТ-240-25,4м; ОБТ-203-131,4м; решта СБТ-140
Рисунок 2 - Зміна спектральної густини вібрацій бурильної колони на буровій Труханівська-1

2. Инструкция по расчету бурильных колонн// РД 39-014 70214-502-85. - Куйбышев, 1986 - 130с.

3. Ивасив В.М., Мизин А.Н. Оценка долговечности бурильных труб с учетом нерегулярности их нагружения // Нефтяное хозяйство. - 1984. - №1. - С.17-18.

4. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций.- М.: Машиностроение, 1980. - 368с.

5. Лисканич М.В., Борисевич Б.Д. Оцінка навантаженості елементів бурильної колони //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. Івано-Франківськ. - 1997.- Випуск 34.- с.34-41.

6. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем.- М.: Наука, 1979. - 335с.

7. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов.- М.: Металлургия. 1975.-455с.

8. Янтурин А.Ш. Предупреждение аварий с колоннами бурильных труб / Обзор. Информ. ВНИИОЭНГ. Сер.: Строит. скважин.- М. - 1989.-52с.