

## ВПЛИВ КРУТНОГО МОМЕНТУ ЗГВИНЧУВАННЯ НА ОПІР ВТОМЛЮВАНОСТІ ЗАМКОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

*В.Я. Василюшин*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 717967,  
e-mail: public@nuing.edu.ua*

*Проведено аналіз експериментальних та теоретичних досліджень впливу крутного моменту згвинчування на опір втомлюваності замкових різьбових з'єднань бурильних труб*

Ключові слова: крутний момент згвинчування, опір втомлюваності, замкове різьбове з'єднання, ніпель, муфта

*Выполнен анализ экспериментальных и теоретических исследований влияния крутящего момента свинчивания на усталостное сопротивление замковых резьбовых соединений бурильных труб*

Ключевые слова: крутящий момент свинчивания, усталостное сопротивление, замковое резьбовое соединение, ниппель, муфта

*The analysis of experimental and theoretical researches of influence of twisting moment of screwing together on tireless resistance of articulated screw-thread connections of borings pipes is executed*

Keywords: twisting moment of screwing together, tireless resistance, articulated screw-thread connections, nipple, muff

Під час буріння замкове різьбове з'єднання бурильних труб піддається розтягання, згинанню та крученню, а також на нього впливає крутний момент згвинчування. Якщо крутний момент було вибрано правильно, то дуже рідко розтягання, згинання або дія знакозмінного згинання є причиною пошкодження замкових різьбових з'єднань. Втомне пошкодження в результаті недостатнього крутного моменту згвинчування є однією з причин аварій замкових різьбових з'єднань. Переважно замкове різьбове з'єднання значно міцніше на розтягання і згинання, ніж бурильна труба.

Вибір оптимального крутного моменту згвинчування суттєво впливає на міцність за втомлюваністю. Викликають інтерес дослідження впливу крутного моменту згвинчування на опір втомлюваністю різьбових з'єднань за максимального і мінімального його значення.

Впливу крутного моменту згвинчування на опір втомлюваності замкових різьбових з'єднань присвячено цілу низку робіт [1,2,3,4,5].

Аналіз результатів дослідження різьбового з'єднання 3-50 труб геологорозвідувального буріння з різьбою 3 – 56×4, 233×1:5 свідчить [3], що збільшення крутного моменту згвинчування з 0,5 кН·м до 3 кН·м дає зменшення напружень від згинання на ділянці найбільш навантаженого витка приблизно в 2 рази, а опір втомлюваності різьбового з'єднання зростає в 2,4 рази.

Ю.І.Газанчаном [4] у ході дослідження замкових різьбових з'єднань діаметром 75 мм було встановлено, що існує певний крутний момент згвинчування, який називається оптимальним  $M_{кр.згв.опт.}$ , при якому опір втомлюваності замкових різьбових з'єднань мінімальний.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень Н.Д.Щербюком [2] встанов-

лено залежність оптимальних напружень  $\sigma_3$ , що виникають у згвинчених замкових з'єднаннях, виготовлених із сталі з  $\sigma_{0,2} = (640...680) МПа$ , від площі небезпечного перерізу ніпеля  $F_n$ . Запропоновано формулу, яка дозволяє визначати оптимальні величини крутних моментів згвинчування для замкових різьбових з'єднань різних типорозмірів, виготовлених із сталей з  $\sigma_{0,2} = (640...800) МПа$ :

$$M_{кр.згв.опт.} = \sigma_3 \times F_n \times a,$$

$$\sigma_3 = 161 \times e^{-0,035F_n} + 200,$$

де:  $F_n$  – площа небезпечного перерізу ніпеля, см<sup>2</sup>;

$a$  – параметр, що характеризує геометрію різьбового з'єднання, см.

Автором [2] встановлено, що оптимальне напруження, яке виникає від крутного моменту згвинчування залежно від діаметра з'єднання, підвищує граничне амплітудне напруження у 1,2...2,8 рази.

Таким чином, вибір оптимальної величини крутного моменту є найкращим і найпростішим способом збільшення опору втомлюваності різьбових з'єднань. Достатньо широко досліджено вплив  $M_{кр.згв.}$  на опір втомлюваності замкових різьбових з'єднань з середньоміцних легированих сталей з  $\sigma_{0,2} = (640...680) МПа$  і визначені залежності, за якими можна визначати оптимальні крутні моменти з'єднань із цих сталей.

Показано [2], що перевищення  $M_{кр.згв.опт.}$  призводить до зниження опору втомлюваності з'єднань і оптимальне напруження, що виникає при згвинчуванні  $\sigma_{з.опт.}$ , рекомендується визначати із співвідношення  $\sigma_{з.опт.} = (0,3...0,4) \sigma_{0,2}$ .

Для попередження неконтрольованого розкріплення замкових різбових з'єднань нижньої частини бурильної колони в процесі роторного буріння і під дією великих динамічних навантажень, а також враховуючи рекомендації Американського нафтового інституту (АНІ) ( $\sigma_3 = (0,7...0,9)\sigma_{0,2}$ ), збирання замкових різбових з'єднань здійснюється за умови  $\sigma_3 = (0,4...0,6)\sigma_{0,2}$ .

Але в цілій низці робіт відзначено, що збільшення напруження  $\sigma_3$  до  $(0,73 - 0,9)\sigma_{0,2}$  збільшує межу витривалості замкових різбових з'єднань. Так, у ході дослідження на знакомий згин моделей з'єднань об'єднаних бурильних труб діаметром 65 мм із замковою різбою 3-54x5,08x1:4 із сталі 35 з  $\sigma_{0,2} = 350\text{МПа}$ , зібраних з напруженням  $\sigma_3 = 0,9\sigma_{0,2}$ , отримано високу межу витривалості - біля 150 МПа (на відміну від 100 МПа, отриманих при  $\sigma_3 = 0,73\sigma_{0,2}$ ).

Оскільки досліджень впливу  $M_{кр.згв.}$  на опір втомлюваності замкових різбових з'єднань із сталі  $\sigma_{0,2} \geq 900\text{МПа}$  обмаль, то для збирання таких з'єднань використовують рекомендації, встановлені для з'єднань із сталі  $\sigma_{0,2} = (640...800)\text{МПа}$ .

Авторами [5,6] розглянуто зміну напруження в серединному перерізі довжини різби ніпеля і муфти зі зростанням моменту затягування при дії на з'єднання згинального моменту  $1200\text{Н}\cdot\text{м}$  (рис. 1). Ці залежності подано у зіставленні з залежностями, які встановлюють зв'язок між граничною амплітудою і крутним моментом згвинчування для з'єднань, виготовлених із сталі 45. Для з'єднань, які згвинчені з  $M_{кр.згв.} = 750\text{Н}\cdot\text{м}$ , гранична амплітуда згинальних моментів найменша. При цьому напруження в ніпелі максимальне, а в муфті – мінімальне. З цього випливає, що при недостатньому  $M_{кр.згв.}$  зовнішнє навантаження сприймає, в основному, ніпель. У з'єднаннях, які згвинчені з  $M_{кр.згв.} = 1500\text{Н}\cdot\text{м}$ , значно збільшилася гранична амплітуда. Напруження в ніпелі різко падають, а у муфті – зростають. Таким чином, збільшення  $M_{кр.згв.}$  призвело до сприятливого перерозподілу напруження в деталях з'єднання. Руйнування від втомлюваності проходить по ніпелю, оскільки при згвинчуванні в ньому виникають напруження розтягання, а у муфті – стискання.

З'єднання, які згвинчені з  $M_{кр.згв.} = 2250\text{Н}\cdot\text{м}$ , мають найвищу граничну амплітуду. Подальше збільшення  $M_{кр.згв.}$  до  $3000\text{Н}\cdot\text{м}$  призводить до її зменшення порівняно з максимальним значенням. Напруження в ніпелі починають зростати, а у муфті – спадати. Так встановлюється зв'язок між граничною амплітудою з'єднань, згвинчених різними крут-

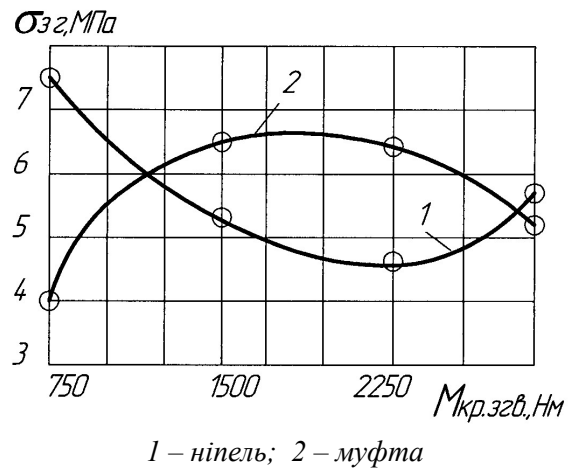


Рисунок 1 – Розподіл напружень в різбовому з'єднанні ЗН-75, що виникають від зовнішнього навантаження  $M_{зг.} = 1200\text{Нм}$  при різних  $M_{кр.згв.}$

ними моментами, і напруженнями, які виникають в деталях з'єднання під дією на них згинального моменту. Цим самим можна прогнозувати оптимальний крутний момент, для якого гранична амплітуда з'єднання найвища.

Використаємо вираз поділених різниць

$$y = [x_s, \dots, x_t] = \frac{y[x_{s+1}, \dots] - y[x_s, \dots, x_{t-1}]}{x_t - x_s}$$

для створення інтерполяційного поліному залежності напружень, що виникають в ніпелі (1) та муфті (2) (рис. 1) під дією на них згинального моменту залежно від зовнішнього навантаження за різних  $M_{кр.згв.}$ .

Складемо таблицю числових значень поділених різниць, розрахованих за поданим вище рівнянням (табл. 1, 2).

Таким чином, для ніпеля маємо інтерполяційний поліном виду

$$\begin{aligned} \sigma_{зг.} = & 7,50 + (M_{кр.згв.} - 0,75) \times (-3,067) + \\ & + (M_{кр.згв.} - 0,75) \times (M_{кр.згв.} - 1,50) \times 1,823 + \\ & + (M_{кр.згв.} - 0,75) \times (M_{кр.згв.} - 1,50) \times \\ & \times (M_{кр.згв.} - 2,25) \times (-0,416). \end{aligned}$$

Після перетворень отримаємо

$$\sigma_{зг.} = -0,416 (M_{кр.згв.})^3 + 3,695 (M_{кр.згв.})^2 - 9,743 M_{кр.згв.} + 12,904.$$

Таким чином, для муфти маємо інтерполяційний поліном виду

$$\begin{aligned} \sigma_{зг.} = & 4,00 + (M_{кр.згв.} - 0,75) \times 3,267 + \\ & + (M_{кр.згв.} - 0,75) \times (M_{кр.згв.} - 1,50) \times \\ & \times (-2,222) + (M_{кр.згв.} - 0,75) \times \\ & \times (M_{кр.згв.} - 1,50) \times (M_{кр.згв.} - 2,25) \times 0,553. \end{aligned}$$

Після перетворень отримаємо

$$\sigma_{зг.} = 0,553 (M_{кр.згв.})^3 - 4,710 (M_{кр.згв.})^2 - 11,687 M_{кр.згв.} - 2,348.$$

Таблиця 1 – Таблиця поділених різниць для ніпеля 1 (рис. 1)

$M_{кр.згв.}$ кНм	$\sigma_{зг.}$ МПа	Значення перших різниць	Значення других різниць	Значення третьох різниць
0,75	7,50	$\frac{5,20 - 7,50}{1,50 - 0,75} = -3,067$	$\frac{-0,333 - (-3,067)}{2,25 - 0,75} = 1,823$ $\frac{1,000 - (-0,333)}{3,00 - 1,50} = 0,887$	$\frac{0,887 - 1,823}{3,00 - 0,75} = -0,416$
1,50	5,20	$\frac{4,95 - 5,20}{2,25 - 1,50} = -0,333$		
2,25	4,95	$\frac{5,70 - 4,95}{3,00 - 2,25} = 1,000$		
3,00	5,70			

Таблиця 2 – Таблиця поділених різниць для муфти 2 (рис.1)

$M_{кр.згв.}$ кНм	$\sigma_{зг.}$ МПа	Значення перших різниць	Значення других різниць	Значення третьох різниць
0,75	4,00	$\frac{6,45 - 4,00}{1,50 - 0,75} = 3,267$	$\frac{-0,067 - 3,267}{2,25 - 0,75} = -2,222$ $\frac{-1,533 + 0,067}{3,00 - 1,50} = -0,977$	$\frac{-0,977 + 2,222}{3,00 - 0,75} = 0,553$
1,50	6,45	$\frac{6,40 - 6,45}{2,25 - 1,50} = -0,067$		
2,25	6,40	$\frac{5,25 - 6,40}{3,00 - 2,25} = -1,533$		
3,00	5,25			

Відомо, що

$$Q = \sigma_m F_n; \quad Q = \frac{M_{кр}}{a},$$

де:  $\sigma_m$  – середнє значення напруження циклу, що виникає в ніпелі;

$F_n$  – площа поперечного перерізу ніпеля по першому спряженому витку різьби;

$a$  – постійна, що залежить від розміру з'єднання.

Тоді

$$\sigma_m = \frac{M_{кр.згв.}}{a \cdot F_n}.$$

Для з'єднань, які згвинчені з  $M_{кр.згв.} = 750 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_{кр.згв.} = 1500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_{кр.згв.} = 2250 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , ці напруження дорівнюють відповідно  $68,0 \text{ Н/мм}^2$ ,  $135,0 \text{ Н/мм}^2$ ,  $202,0 \text{ Н/мм}^2$  [6].

Оптимальними будуть ті середні напруження, за яких гранична амплітуда найбільша.

Максимально допустимий крутний момент згвинчування

$$M_{кр.згв.мах.} = F \sigma_T a,$$

де:  $F$  – менше із значень  $F_n$  (площа перерізу ніпеля на відстані 24 мм від упорного уступу) або  $F_m$  (площа перерізу муфти на відстані 24 мм від упорного торця);

$\sigma_T$  – границя плинності матеріалу замка.

Для визначення мінімального крутного моменту згвинчування з врахуванням навантажень згинання визначають середнє напруження

у небезпечному перерізі ніпельної частини з'єднання  $\sigma_{m(n)}$ , використовуючи діаграму міцності за втомлюваністю, яка характеризує постійне відношення між статичною і циклічною міцністю металів.

Мінімально допустимий крутний момент згвинчування

$$M_{кр.згв.мін.} = F_n \sigma_{m(n)} a.$$

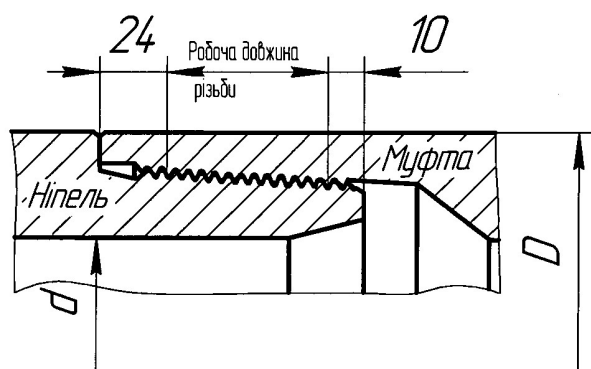
Як показали теоретичні та експериментальні дослідження [6,7], в замковому з'єднанні існують два небезпечні перерізи, по яких можуть проходити втомні руйнування: в ніпелі – по першому спряженому витку, що знаходиться на відстані 24 мм від упорного виступу, в муфті – на відстані 10 мм від меншого торця ніпеля (рис. 2). Перерізи, в яких відбуваються пошкодження, і відповідні значення межі витривалості замкових різьбових з'єднань залежать від співвідношення осьового моменту опору небезпечного перерізу муфтової частини і осьового моменту опору небезпечного перерізу ніпельної частини, тобто від ступеня зрівноваження з'єднання [6].

За даними Фарра А.П. [8] найбільш оптимальним вважається відношення

$$\frac{W_M}{W_n} = 2,25 \div 2,75,$$

тобто всередньому 2,5,

де  $W_n, W_M$  – осьові моменти опору відповідно ніпеля і муфти у їх небезпечних перерізах.



**Рисунок 2 – Небезпечні перерізи замкового різьбового з'єднання**

При цих співвідношеннях розрахункові напруження згинання у небезпечних перерізах муфти і ніпеля зрівнюються.

1 Крыжановский Е.И. Исследование и повышение сопротивления усталости бурильных колонн при вращательном бурении скважин: дис. ... докт. техн. наук: по спец. 05.04.07 / Е.И.Крыжановский – М., 1990. – 299 с.

2 Щербюк Н.Д. Исследование и разработка конструкций резьбовых соединений труб нефтяного сортамента и забойных двигателей с высокими эксплуатационными характеристиками для бурения глубоких скважин: дис. ... д-ра техн. наук: по спец. 05.15.10 / Н.Д.Щербюк. – М., 1978. – 400 с.

3 Лачинян Л.А. Конструирование, расчет и эксплуатация бурильных геологоразведочных труб и их соединений / Л.А.Лачинян. – М.: Недра, 1975. – 228 с.

4 Газанчан Ю.И. Исследование усталостной прочности крупных конических резьбовых соединений: дис. ... канд. техн. наук: по спец. 05.15.10 / Ю.И.Газанчан. – М., 1972. – 163 с.

5 Чернов Б.А. Методы повышения работоспособности бурильных и обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах: дис. ... докт. техн. наук: по спец. 05.15.10 / Б.А.Чернов. – Ив.-Фр., 1999. – 345 с.

6 Щербюк Н.Д. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей / Н.Д.Щербюк, Н.В.Якубовский. – М.: Недра, 1974. – 252 с.

7 Саркисов Г.М. Расчёты бурильных и обсадных колонн // Г.М.Саркисов. – М.: Недра, 1979. – 208 с.

8 Farr A.P. Torque requirements for rotary shouldered connections and selection of Connections for drill collars / A.P.Farr – The american society of mechanical engineers.1959.-No57.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
11.10.10  
Рекомендована до друку професором  
Коцкуличем Я.С.*