

## АНАЛІЗ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ В ЕЛЕМЕНТАХ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРИ ЗУСТРІЧНОМУ СПОСОБІ НАВАНТАЖЕННЯ

*В.Я.Василишин*

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 45369,  
e-mail: public@nuing.edu.ua

*Предложен аналитический подход к анализу силовых факторов в элементах резьбового соединения. Приведены эюры распределения внешней погонной нагрузки и нормальных осевых сил в элементах резьбового соединения при встречном способе нагружения.*

*The analytical approach to the power factors analysis in the elements of threaded connection is suggested. Diagrams of distribution of the external linear load and normal axial force in the elements of threaded connection during the counter method of loading are listed.*

При розрахунках і конструюванні різьбових з'єднань велике значення має розподіл навантаження по довжині різьби і вид його навантаження.

Розподіл навантаження по довжині різьбових з'єднань розглянуто у багатьох роботах. Формули Н.С.Жуковського, І.А.Біргера [1] та інших авторів дають уяву тільки про інтенсивність розподілу зовнішнього навантаження по довжині робочої частини різьбового з'єднання. В розв'язках цих авторів нічого не говориться про розподіл внутрішніх силових факторів, які виникають в поперечних перерізах деталей різьбового з'єднання. Тобто ці розв'язки не дають можливості визначити закономірність зміни напружень в деталях різьбового з'єднання при різних способах навантаження.

В дослідженнях [3] наводиться розв'язок, який дає диференціальну залежність між внутрішніми силовими факторами, які виникають у поперечних перерізах елементів різьбового з'єднання, та інтенсивністю розподілу зовнішнього навантаження по довжині різьби. Взято до уваги випадок зустрічної передачі осьового зусилля з однієї труби на іншу за допомогою гострокутної різьби. Для цього із складових циліндрів різьбового з'єднання виділено смужку довільної довжини і одиничної ширини. Початок відліку координати  $x$  розташовано в перерізі, який співпадає з першою ниткою різьби, в торці зовнішнього циліндра, позначеного індексом 2. Внутрішній циліндр позначено індексом 1. Поздовжнє зусилля  $Q$  вважається прикладеним на обох кінцях труб паралельно осі різьбового з'єднання.

На відстані  $x$  навколо деякої точки на контакті з'єднання виділено елементарні паралелепіпеди матеріалу завдовжки  $dx$ , завширшки 1, заввишки  $d\delta$ .

З умов рівноваги елементарних паралелепіпедів дотичні сили рівні за величиною і протилежні за напрямом:

$$T = \frac{dQ_2}{dx} = Q'_2; \quad T = -\frac{dQ_1}{dx} = -Q'_1. \quad (1)$$

Оскільки для розв'язування задачі рівнянь статички недостатньо, розглянуто деформований

стан елементарних паралелепіпедів, виділених із складових циліндрів різьбового з'єднання.

За рахунок різниці осьових деформацій переріз кожного елемента з координатою  $x$  отримує горизонтальне переміщення  $u$ , а переріз з координатою  $x + dx$  отримує переміщення  $u + du$ .

Відносні лінійні видовження елементів з'єднання запишуться у вигляді:

$$\varepsilon_1 = \frac{dx + du_1 - dx}{dx} = \frac{du_1}{dx} = u'_1;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{dx + du_2 - dx}{dx} = \frac{du_2}{dx} = u'_2,$$

де  $du_1$  і  $du_2$  – абсолютні видовження відрізків  $dx$  внутрішнього та зовнішнього елементів.

Диференціюючи вираз  $u = u_2 - u_1$ , який є різницею абсолютних видовжень елементів довжиною  $x$ , отримано  $u' = u'_2 - u'_1 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ .

Оскільки поздовжнє зусилля з одного елемента на інший передається за допомогою зв'язків зсуву, то різниця абсолютних видовжень пропорційна зовнішній дотичній силі  $T$  і обернено пропорційна деякому коефіцієнту пропорційності  $k$ , який характеризує певне різьбове з'єднання і може бути визначений експериментально, тобто

$$u = u_2 - u_1 = \frac{T}{k}. \quad (2)$$

Диференціюючи вираз (2), отримано

$$T' = k(\varepsilon_2 - \varepsilon_1). \quad (3)$$

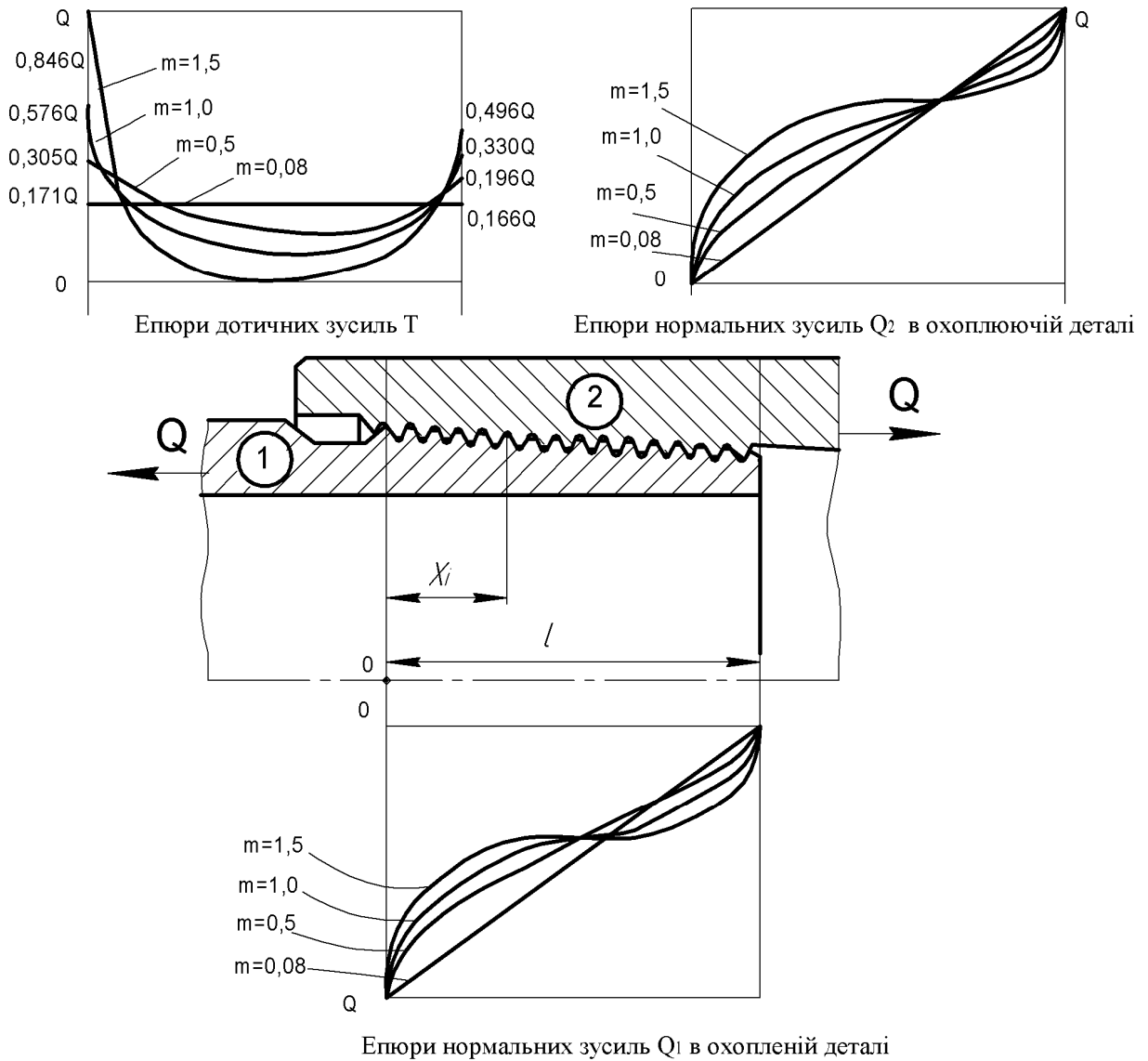
Підставивши в рівняння (3) значення відносних видовжень, які за законом Гука дорівнюють

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{Q_1}{E_1 F_1};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} = \frac{Q_2}{E_2 F_2},$$

отримано

$$T' = k \left( \frac{Q_2}{E_2 F_2} - \frac{Q_1}{E_1 F_1} \right).$$



**Рисунок 1 — Епюри розподілу зовнішнього погонного навантаження і нормальних осьових сил в елементах різьбового з'єднання при різних значеннях параметра  $m$**

Враховуючи рівняння (1) та рівняння статички  $Q_1 + Q_2 = Q$ , отримано рівняння

$$Q_2'' - k \left( \frac{1}{E_1 F_1} + \frac{1}{E_2 F_2} \right) Q_2 = - \frac{kQ}{E_1 F_1}. \quad (4)$$

У рівнянні (4) змінною величиною, яка залежить від координати  $x$ , є нормальна осьова сила  $Q_2$ . Інші величини є константами, що характеризують матеріал і конструктивні параметри даного різьбового з'єднання.

Для аналізу силових факторів в елементах різьбового з'єднання при зустрічному способі навантаження використаємо диференціальне рівняння (4), яке запишемо у вигляді

$$Q_2'' - m^2 Q_2 = - \frac{kQ}{E_1 F_1},$$

де

$$m^2 = k \left( \frac{1}{E_2 F_2} + \frac{1}{E_1 F_1} \right).$$

Інтеграл однорідного рівняння  $Q_2'' - m^2 Q_2 = 0$  з врахуванням часткового розв'язку записується у вигляді

$$Q_2 = A \operatorname{sh} mx + B \operatorname{ch} mx + \beta Q, \quad (5)$$

де

$$\beta = \frac{k}{m^2 E_1 F_1}.$$

Розглянемо розтягнуте різьбове з'єднання з робочою довжиною різьби, що дорівнює  $l$  (рис. 1). Для визначення постійних інтегрування скористаємося граничними умовами на кінцях охоплюючої деталі, позначеної індексом 2: при  $x=0$   $Q_2=0$ ; при  $x=l$   $Q_2=Q$ .

Після підстановки граничних умов з рівняння (5), одержуємо:

$$A = - \frac{\beta Q (1 - \operatorname{ch} ml)}{\operatorname{sh} ml} + \frac{Q}{\operatorname{sh} ml};$$

$$B = -\beta Q.$$

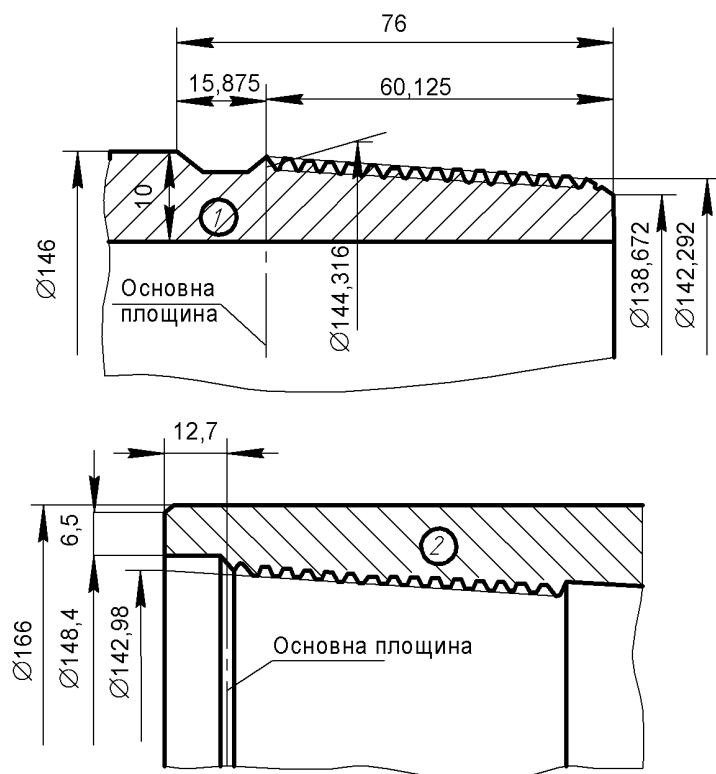


Рисунок 2 — Розміри труби (1) і муфти (2) різьбового з'єднання

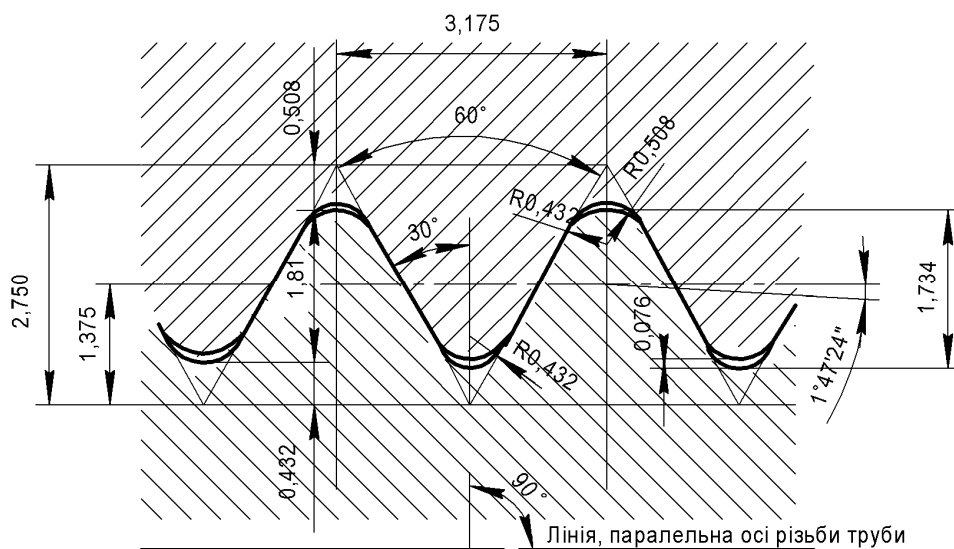


Рисунок 3 — Профіль різьби

З врахуванням постійних інтегрування, рівняння (5) набуває вигляду

$$Q_2 = \frac{Q}{\left(\frac{1}{E_1 F_1} + \frac{1}{E_2 F_2}\right) sh ml} \times \left[ \frac{sh ml - sh m(l-x)}{E_1 F_1} + \frac{sh mx}{E_2 F_2} \right] \quad (6)$$

Нормальне зусилля в охоплюючій деталі, яка позначена індексом 1, визначається з рівняння

$$Q_1 = Q - Q_2 \quad (7)$$

Дотичне зусилля (1), яке діє на витки різьби, дорівнює

$$T = \frac{dQ_2}{dx} = \frac{mQ}{\left(\frac{1}{E_1 F_1} + \frac{1}{E_2 F_2}\right) sh ml} \times \left[ \frac{ch m(l-x)}{E_1 F_1} + \frac{ch mx}{E_2 F_2} \right] \quad (8)$$

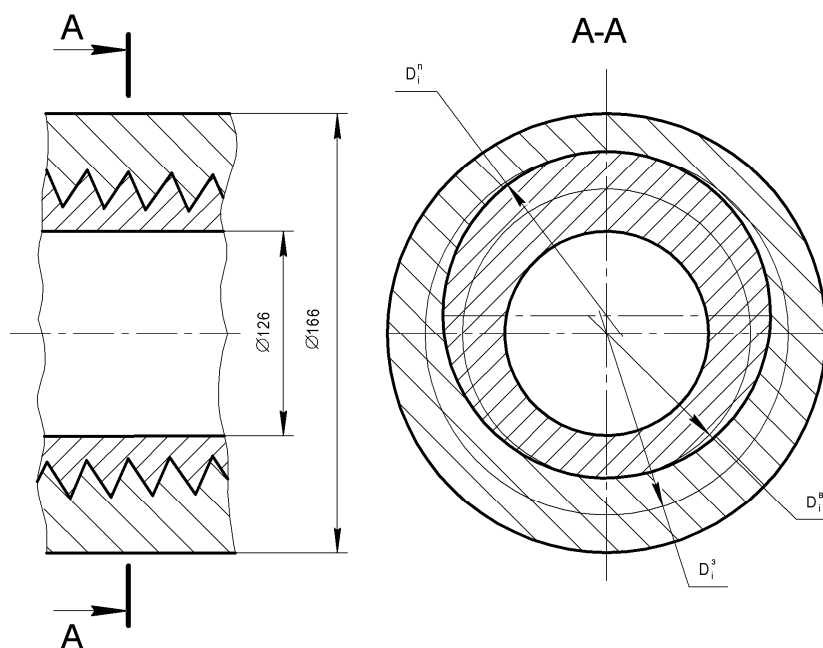


Рисунок 4 — Схема *i*-ого перерізу різьбового з’єднання

Таблиця 1 – Геометричні параметри перерізів різьбового з’єднання

№ перерізу	$x_i$ , мм	Внутрішній діаметр $D_i^e$ різьби на <i>i</i> -тому витку, мм	Зовнішній діаметр $D_i^s$ різьби на <i>i</i> -тому витку, мм	Середній діаметр $D_i^c$ різьби на <i>i</i> -тому витку, мм	Приведений діаметр $D_i^n$ різьби на <i>i</i> -тому витку, мм	Площа поперечного перерізу $F_i^1$ <i>i</i> -того витка охопленої деталі, мм <sup>2</sup>	Площа поперечного перерізу $F_i^2$ <i>i</i> -того витка охоплюючої деталі, мм <sup>2</sup>
0	0	142,980	146,600	144,316	144,790	3996	5175
1	3,164	142,753	146,373	144,114	144,563	3942	5226
2	6,329	142,527	146,147	143,912	144,337	3891	5277
3	9,494	142,299	145,920	143,712	144,110	3842	5329
4	12,658	142,073	145,693	143,509	143,883	3788	5380
5	15,823	141,846	145,466	143,307	143,656	3737	5431
6	18,987	141,620	145,239	143,105	143,430	3686	5482
7	22,151	141,393	145,013	142,903	143,203	3635	5533
8	25,316	141,166	144,786	142,702	142,976	4566	5584
9	28,480	140,939	144,556	142,499	142,750	3534	5635
10	31,645	140,713	144,333	142,298	142,523	3482	5686
11	34,809	140,486	144,106	142,096	142,106	3391	5739
12	37,809	140,259	143,879	141,894	142,070	3382	5787
13	41,138	140,033	143,653	141,692	141,843	3330	5838
14	44,303	139,806	143,426	141,491	141,616	3281	5888
15	47,467	139,579	143,199	141,289	141,389	3230	5938
16	50,632	139,353	142,973	141,087	141,163	3179	5989
17	53,796	139,126	142,746	140,885	140,936	3130	6039
18	56,960	138,899	142,519	140,684	140,709	3079	6089
19	60,125	138,672	142,292	140,482	140,483	3029	6139

Для аналізу силових факторів в елементах різьбового з’єднання при зустрічному способі навантаження взято обсадні труби діаметром  $d=146$  мм з товщиною стінки  $\delta=10$  мм. На рис. 2 подано розміри труби і муфти різьбового з’єднання. У з’єднанні труб використовується різьба конусністю 1:16, з кроком 3,175 і з кутом профілю  $60^\circ$ . Профіль різьби показано на рис. 3.

На рис. 1 зображено епюри розподілу внутрішніх нормальних осьових сил, а також епюри інтенсивності розподілу зовнішнього навантаження, які розраховані за формулами (6-8) при  $m=0,08$  1/см,  $m=0,5$  1/см,  $m=1,0$  1/см,  $m=1,5$  1/см. У дослідженнях [3] розрахунок проводився за умови, що товщина зовнішнього (2) і внутрішнього (1) елементів по довжині

різьби постійна. Для більш точного розрахунку площ поперечних перерізів  $F_i^1$  та  $F_i^2$  відповідно охопленої (1) та охоплюючої (2) деталі по довжині різьби (нитки з повним профілем), починаючи від основної площини, взято 20 перерізів (від 0 до 19) з інтервалом, що дорівнює кроку різьби. На рис. 4 зображено схему  $i$ -того перерізу різьбового з'єднання з указанням внутрішнього та зовнішнього діаметрів різьби, а також приведенного діаметра, який використовується при обчисленні площ  $i$ -того поперечного перерізу охопленої та охоплюючої деталі. В табл. 1 подано чисельні значення указаних вище параметрів.

У формулах (6-8) при розрахунках взято модуль пружності однаковий для обох деталей, тобто  $E_1 = E_2 = 2,04 \times 10^5 \text{ Н / мм}^2$ .

### Література

- 1 Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые соединения. – М.: Машиностроение, 1973. – 256 с.
- 2 Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1974. – 830 с.
- 3 Мочернюк Д.Ю. Исследование и расчет резьбовых соединений труб, применяемых в нефтедобывающей промышленности. – М.: Недра, 1970. – 135 с.

### IX Українська науково-технічна конференція

# МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ: СЬОГОДЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

м. Київ  
(9–11 вересня 2008 р.)

### Оргкомітет конференції

ВАТ „УкрНДІпроектстальконструкція  
ім. В.М.Шимановського”  
02660, Київ-2, просп. Визволителів, 1  
<http://urdisc.com.ua>  
[icbmc@urdisc.com.ua](mailto:icbmc@urdisc.com.ua)  
тел./факс (044) 5439740, 5439769

### Тематика конференції:

- Розроблення раціональних типів будівельних металевих конструкцій, експериментально-теоретичні дослідження роботи елементів та з'єднань
- Розвиток методів розрахунку та проектування будівельних металевих конструкцій і споруд
- Проблеми автоматизації проектування та розрахунку металевих конструкцій
- Удосконалення технологій виготовлення і монтажу металевих конструкцій, ремонту і реконструкції будівель та споруд
- Проблеми технічної експлуатації, методи оцінювання технічного стану та визначення залишкового ресурсу металоконструкцій
- Розвиток і удосконалення нормативної бази в галузі металобудування
- Суміжні проблеми