

УДК 624.014.2:624.078.46:624.042.062

ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ФЛАНЦЕВОГО ГРЕБЕНЕВОГО ВУЗЛА ДВОШАРНІРНОЇ АРКИ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ В ЇЇ ЕЛЕМЕНТАХ

В.В. Романюк,
канд. техн. наук

В.В. Супрунюк,
канд. техн. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

DOI: 10.32347/2410-2547.2021.106.236-246

Теоретичне визначення дійсної жорсткості гребеневого вузла сталеві перфорованої арки здійснено з використанням методу початкових параметрів, який дозволив обчислити напруження у верхньому опорному перерізі поясу конструкції. Застосування запропонованої методики розрахунку дозволяє визначити жорсткість болтового фланцевого з'єднання з урахуванням його дійсної роботи, а також змінювати її за рахунок зміни геометричних параметрів вузлових деталей, тобто, діаметру болтів або товщини фланців.

Ключові слова: болт, з'єднання, фланець, несуча здатність, опір, жорсткість, закріплення, арка, гребеневий вузол.

Вступ. В розрахунку будівельних конструкцій важливе значення має точне визначення крайових умов з'єднання вузлових елементів, яке суттєво впливає не тільки на перерозподіл зусиль в окремих елементах конструкцій по їх довжині та на жорсткість вузлів і конструкцій в цілому, а і на складність розрахунку конструкцій. Особливо це стосується болтових з'єднань і, зокрема, фланцевих болтових з'єднань, які є одними з найбільш ефективних видів заводських, а особливо монтажних стиків, і які дуже широко застосовуються у світовій практиці проектування і зведення металевих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень. На даному етапі для визначення крайових умов з'єднання окремих елементів конструкцій застосовують вітчизняні та європейські норми проектування [1, 2], за якими вузлові з'єднання приймаються шарнірними, жорсткими, у вигляді рухомого заземлення тощо. Всі ці умови закріплення є ідеалізованими, що не у повному обсязі відповідає дійсним умовам роботи вузлових з'єднань і конструкцій в цілому і це підтверджено як експериментальними дослідженнями [3, 4, 6], так і практикою експлуатації існуючих конструкцій.

Постановка мети і задач досліджень. Метою досліджень є теоретичне визначення дійсної жорсткості гребеневого вузла сталеві попередньо напруженої перфорованої арки. Задачами є: визначення теоретичних деформацій балки у місці кріплення її до абсолютно жорсткої опори методом початкових параметрів; визначення фактичної

жорсткості вузлового з'єднання; порівняння обчислених теоретичних напружень з експериментальними.

Результати досліджень. В науково-дослідній лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та природокористування було проведено експериментальні дослідження сталеві перфоровані арки прольотом $L=9$ м зі стрілою підйому $f=2,25$ м (рис. 1 (а)) з жорстким фланцевим гребневим вузлом (рис. 1 (б)) [3, 6]. Розрахункове симетричне рівномірно розподілене навантаження на арку становило $8,35$ кН/м. Під час експериментальних досліджень воно було замінено зосередженими еквівалентними вузовими навантаженнями величиною $8,4$ кН, прикладеними з кроком $0,9$ м (рис. 1 (в)).

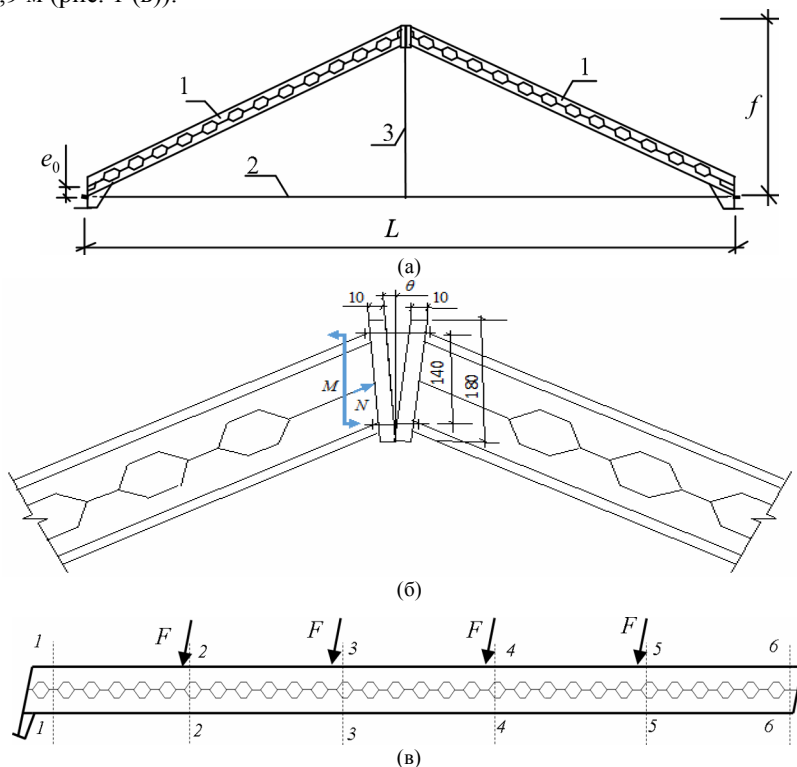


Рис. 1. Сталева попередньо напружена перфорована арка:
 (а) – загальний вигляд; (б) – розрахункова схема фланцевого гребневого вузла;
 (в) – напіварка з характерними перерізами
 1 – перфоровані пояси; 2 – затяжка; 3 – підвіска

Аналіз напруженого стану перфорованого стиснуто-згинального поясу арки здійснювався шляхом порівняння теоретичних і експериментальних напружень у 12-ми його перерізах (6 на кожну

напіварку, поблизу вузлів і зосереджених сил) (див. рис. 1, (в)). Теоретичні напруження були обчислені за методикою [1], яка використовує теорію згину і передбачає, що напруження визначаються як у звичайній балці, послабленій отвором, а експериментальні – виміряні за допомогою тензорезисторів, які були наклеєні по висоті перерізів напіварок (табл. 1 і рис. 2).

Таблиця 1

Напруження у верхній і нижній полицях поясу напіварки

Полиця	Напруження	Перерізи					
		1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
Верхня	σ_t , МПа	-66,85	-200,3	-221,8	-142,3	38,23	258,7
	σ_c , МПа	-59,84	-195,6	-230,9	-133,3	-14,77	85,00
Нижня	σ_t , МПа	-28,52	110,5	137,7	63,84	-111,0	-331,5
	σ_c , МПа	-36,04	92,82	144,3	96,9	-36,72	-143,8

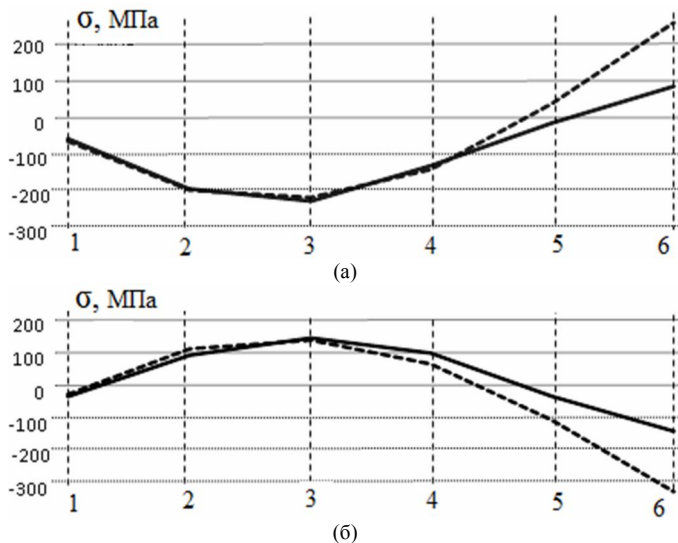


Рис. 2. Розподіл напружень в характерних перерізах напіварки по її довжині:

(а) – у верхній полиці; (б) – у нижній полиці

(---) - теоретичні значення напружень,
 ———) - експериментальні значення напружень)

Експериментальні напруження у характерному перерізі 6-6, який знаходився поблизу гребеневого вузла, значно відрізнялись від теоретичних значень, чого не спостерігається в інших перерізах, розташованих далі від фланцевого з'єднання у цьому вузлі.

Розбіжність складала 56,6%-67,1%. Це можна пояснити податливістю фланцевого болтового з'єднання, яке за дії у вузлі згинаючого моменту і

поздовжньої сили розкривалося (див. рис. 1 (б)), а в теоретичних розрахунках це з'єднання приймалося абсолютно жорстким.

Це означає, що гребеневий вузол працював не як жорсткий, а частково шарнірний, а дійсна розрахункова схема роботи двошарнірної арки (рис. 3 (а)) частково була тришарнірною (рис. 3 (б)), а, отже, значення згинаючого моменту було меншим за рахунок податливості.

Напруження в затязці складо: теоретичне 147,22 МПа; експериментальне 129,47 МПа. Розбіжність становить 12,1%.

Якщо жорсткість ідеального фланцевого з'єднання прийняти за одиницю, то із вище наведеного можна зробити висновок, що за результатами експериментальних досліджень реальна жорсткість була меншою за одиницю. Отже, жорсткість болтового фланцевого з'єднання буде зменшуватись на величину відповідну згинаючому моменту, який сприймається болтовим з'єднанням за рахунок його податливості.

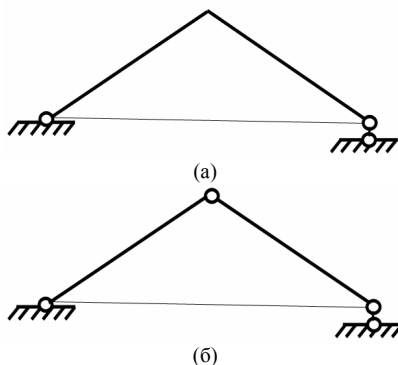


Рис. 3. Статичні схеми арок:
(а) – двошарнірна; (б) – тришарнірна

Методика досліджень. Напруження, які виникають в перерізах арки, залежать від внутрішніх зусиль, а внутрішні зусилля, у свою чергу, від зовнішнього навантаження. Порівнявши розрахункові схеми дво- і тришарнірної арок, можна зробити висновок, що зусилля в перерізах будуть залежати від величини зовнішнього навантаження, опорної реакції та зусилля в затязці від розпору. При однакових значеннях прольоту, стріли підйому та зовнішнього навантаження величина опорної реакції в різних розрахункових схемах буде однаковою. Різниця буде полягати лише у величині зусилля в затязці від розпору. Отже, обчисливши величину, на яку зросте зусилля в затязці за рахунок розкриття фланців, можна в подальшому обчислити величину зменшення згинаючого моменту в перерізі 6-6 і, відповідно, жорсткість фланцевого болтового з'єднання.

Внутрішні зусилля, а саме згинаючий момент M і поздовжня сила N в перерізі 6-6 двошарнірної арки, у разі абсолютно жорсткого гребеневого вузла і завантаженні рівномірно-розподіленим навантаженням q визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{qL^2}{8 \cos \alpha} - \frac{qLf}{\sin \alpha} = \frac{8,35 \cdot 9^2}{8 \cdot \cos 26,565} - \frac{8,35 \cdot 9 \cdot 2,25}{\sin 26,565} = 23,6 \text{ кНм} \\ N &= \frac{qL}{3,2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{8,35 \cdot 9}{3,2 \cdot \operatorname{tg} 26,565} = 47 \text{ кН} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $\alpha=26,565$ – кут нахилу поясів арки.

Зусилля в зтяжці від розпору становить

$$P = \frac{qL}{3,2 \sin \alpha} = \frac{8,32 \cdot 9}{3,2 \cdot \sin 26,565} = 52,5 \text{ кН.} \quad (2)$$

Розкриття фланцевого болтового з'єднання можна визначити за видовженням болтів. Найбільш навантажені болти сприймають зусилля

$$F = \frac{M}{2h} - \frac{N}{4 \cos \alpha} = \frac{23,6}{2 \cdot 0,14} - \frac{47}{4 \cdot \cos 26,565} = 71,2 \text{ кН,} \quad (3)$$

де $h=0,14$ м – відстань між болтами у фланцевому з'єднанні, які сприймають згинаючий момент M (див. рис. 1 (б)).

Видовження болтів при цьому становить

$$\Delta l_{\sigma} = \frac{F \sum t}{E A} = \frac{71,2 \cdot 2}{2,06 \cdot 10^4 \cdot 0,785} = 0,00881 \text{ см,} \quad (4)$$

де $\sum t = 2$ см – сума товщин елементів, що з'єднуються (фланців) (див. рис. 1 (б)); $A = 0,785 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу болта діаметром $d = 10$ мм.

Кут розкриття гребеневого вузла складає

$$\theta = \arctg \frac{\Delta l_{\sigma}}{h+2} = \arctg \frac{0,00881}{14+2} = 0,0315, \quad (5)$$

де $h+2$ см – довжина розкриття фланців від низу до найбільш навантаженого болта.

Кут розкриття гребеневого вузла θ є кутом повороту поясу напіварки у цьому вузлі.

Для визначення прогинів і кутів повороту поясів арки використано метод початкових параметрів

$$\left. \begin{aligned} EI\theta_{x_i} &= EI\theta_0 + \sum M_{x_i}(x_i - a_1) + \sum F_{x_i} \frac{(x_i - a_2)^2}{2} + \sum q_{x_i} \frac{(x_i - a_3)^3}{6} \\ EIy_{x_i} &= EIy_0 + EI\theta_0 x_i + \sum M_{x_i} \frac{(x_i - a_1)^2}{2} + \sum F_{x_i} \frac{(x_i - a_2)^3}{6} + \sum q_{x_i} \frac{(x_i - a_3)^4}{24} \end{aligned} \right\}, (6)$$

де θ_{x_i} , y_{x_i} – кут повороту та прогин в перерізі, що розглядається; θ_0 , y_0 – кут повороту та прогин елемента на початку системи (початкові параметри); M_{x_i} , F_{x_i} , q_{x_i} – відповідно зосереджені моменти, зосереджені сили та величина рівномірно розподіленого навантаження, які прикладені до конструкції; x_i – відстань від початку системи до перерізу, в якому обчислюється деформація; a_1 , a_2 , a_3 – відстані від початку системи до точок прикладання відповідно зосереджених моментів, зосереджених сил та до початку ділянок прикладання розподіленого навантаження; I – момент інерції перерізу; E – модуль пружності сталі.

Суть методу полягає у визначенні деформацій і кутів повороту у будь-якому перерізі конструкції послідовно, враховуючи всі силові фактори,

які мають вплив на цей переріз та параметри його жорсткості, встановивши при цьому деякі початкові загальновідомі передумови (початкові параметри). Так для розрахункової схеми двохарнірної арки (див. рис. 3 (а)) очевидним є те, що кут повороту θ в гребеневому вузлі, дорівнює нулю. Підстановка цих даних у першу частину системи формул (6), дозволяє визначити кут повороту в опорному вузлі

$$EI\theta_0 = EI\theta_{xi} - \sum M_{xi}(x_i - a_1) + \sum F_{xi} \frac{(x_i - a_2)^2}{2} + \sum q_{xi} \frac{(x_i - a_3)^3}{6}. \quad (7)$$

Оскільки для розрахункової схеми тришарнірної арки (див. рис. 3 (б)) вузол розкривається, то кут повороту поясу у гребеневому вузлі визначається за виразом

$$EI\theta_{xi} = EI\theta_0 + \sum M_{xi}(x_i - a_1) + \sum F_{xi}' \frac{(x_i - a_2)^2}{2} + \sum q_{xi} \frac{(x_i - a_3)^3}{6}, \quad (8)$$

де F_{xi}' – сума всіх зосереджених поперечних сил, що прикладаються до поясу напіварки з урахуванням зміни розрахункової схеми і, як наслідок, зусилля в зтяжці.

Як показують розрахунки, початковий кут повороту θ_0 практично не змінюється в розрахункових схемах дво- і тришарнірної арок. Після підстановки вираз (7) у (8) отримано кут повороту у будь-якому перерізі

$$EI\theta_{xi} = \sum F_{xi}' \frac{(x_i - a_2)^2}{2} - \sum F_{xi} \frac{(x_i - a_2)^2}{2}. \quad (9)$$

У виразі (9) різниця всіх сил $\sum F_{xi}' - \sum F_{xi}$ у правій частині виразу відповідає величині збільшення зусилля в зтяжці внаслідок часткового переходу розрахункової схеми арки з двохарнірної у тришарнірну. Величину цього зусилля можна визначити за виразом

$$\Delta P = \frac{8EI\theta \cos^2 \alpha}{L^2 \sin \alpha} = \frac{8 \cdot 2,06 \cdot 538,18 \cdot 0,0315 \cdot \cos^2 26,565}{9^2 \cdot \sin 26,565} = 6,17 \text{ кН}, \quad (10)$$

де $I = 538,18 \text{ см}^4$, $A = 13,136 \text{ см}^2$ – відповідно момент інерції і площа поперечного перерізу напіварки в перерізі 6-6.

Згинаючий момент в гребеневому вузлі зменшиться на величину

$$\Delta M = \Delta P f = 6,17 \cdot 2,25 = 13,88 \text{ кНм}. \quad (11)$$

Таким чином, значення згинаючого моменту і поздовжнього зусилля в перерізі 6-6 становитиме

$$\left. \begin{aligned} M' &= M - \Delta M = 23,6 - 13,88 = 9,72 \text{ кН}; \\ N' &= N + \Delta P \cos \alpha = 47 + 6,17 \cdot \cos 26,565 = 52,5 \text{ кН}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Отже, жорсткість жорсткого вузлового фланцевого з'єднання можна визначити за формулою

$$k = \frac{M'}{M_1} = \frac{9,72}{23,6} = 0,412. \quad (13)$$

Теоретичні напруження у перерізі 6-6 з урахуванням податливості болтового з'єднання становлять: у верхній полиці +81,3 МПа; у нижній

полиці $-153,66$ МПа. Теоретичне напруження в з'язці з урахуванням уточненої розрахункової схеми становить $+130,64$ МПа.

Порівнявши теоретичні та експериментальні результати (рис. 4), встановлено, що відхилення експериментальних значень напружень від теоретичних для верхньої полиці склало: за жорсткого вузла $-67,1\%$, за податливого $-4,3\%$; для нижньої полиці: за жорсткого вузла $-56,6\%$, за податливого $-6,4\%$. Відхилення напружень в з'язці за жорсткого вузла $-12,1\%$, з урахуванням його податливості $-0,9\%$.

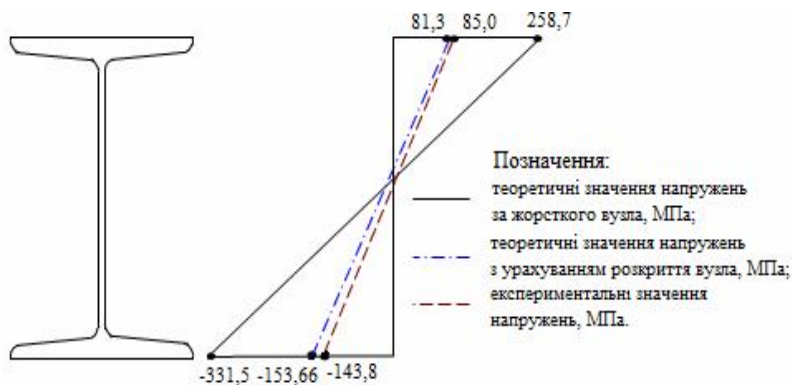


Рис. 4. Розподіл напружень в перерізі 6-6

У разі застосування у цьому з'єднанні болтів інших діаметрів жорсткість вузла буде суттєво змінюватись (табл. 2).

Таблиця 2

Жорсткість болтового фланцевого з'єднання k залежно від діаметра болта d

Жорсткість болтового фланцевого з'єднання	Діаметр болта d , мм							
	10	12	14	16	18	20	22	24
k	0,412	0,591	0,699	0,770	0,818	0,853	0,878	0,897

Висновки. Застосування запропонованої методики дозволяє визначити жорсткість болтового фланцевого з'єднання з урахуванням його дійсної роботи, яка, як видно з експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків, відрізняється від ідеалізованих розрахункових схем. Окрім того, ця методика дозволяє змінювати жорсткість болтового з'єднання, наприклад, змінюючи діаметр болтів, їх кількість, відстань між ними або товщину і висоту фланців, а також використовувати додатковий ресурс матеріалу за рахунок деякого зменшення максимальних напружень в послаблених перерізах елементів, зокрема, як у розглянутому прикладі на $56,6-67,1\%$. Жорсткість болтового з'єднання склала $0,412$ і може коливатись залежно від діаметра болтів від $0,412$ до $0,897$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сталеві конструкції [Текст]: ДБН В.2.6 – 198: 2014. – [офіц. вид.]. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2014. – 199 с. – (Нормативний документ Мінрегіонбуду України. Норми проектування).
2. Eurocode 3: Design of steel structures. EN 1993-1-8:2005.
3. *Романюк В. В.* Міцність та деформативність перфорованих елементів сталеві арки [Текст]: монографія / В. В. Романюк, В. В. Супрунюк. – Рівне: НУВГП, 2013. – 106 с.
4. *Романюк В. В.* Несуча здатність перфорованих прогонів Z-подібного профілю за косого згину [Текст]: монографія / В. В. Романюк, В. Б. Василенко, В. В. Супрунюк. – Рівне: НУВГП, 2017. – 206 с.
5. *Романюк В. В.* Особливості розрахунку прольотних конструкцій з перфорованих елементів за складного напружено-деформованого стану [Текст] / В. В. Романюк, В. В. Супрунюк // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Випуск 175. – С. 98 – 108.
6. *Романюк В. В.* Експериментальні дослідження прольотних конструкцій з перфорованих елементів за складного напружено-деформованого стану [Текст] / В. В. Романюк, В. В. Супрунюк // Опір матеріалів і теорія споруд: наук. – тех. збірн. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 103. – С. 189-200.

REFERENCES

1. Stalevi konstruktsiyi (Steel structures) [Tekst]: DBN V.2.6 – 198: 2014. – [ofits. vyd.]. – K.: DP «Ukrarkhbudinform», 2014. – 199 s. – (Normatyvnyy dokument Minrehionbudu Ukrayiny. Normy proektuvannya).
2. Eurocode 3: Design of steel structures. EN 1993-1-8:2005.
3. *Romaniuk V. V.* Mitsnist ta deformatyvnist perforovanykh elementiv stalevoyi arky (Strength and deformability of perforated elements of steel arch) [Tekst]: monohrafiya / V. V. Romaniuk, V. V. Supruniuk. – Rivne: NUVHP, 2013. – 106 s.
4. *Romaniuk V. V.* Nesucha zdatnist perforovanykh prohoniv Z-podibnoho profilyu za kosoho z'hynu (Carrying capacity of perforated runs of Z-shaped profile in oblique bending) [Tekst]: monohrafiya / V. V. Romaniuk, V. B. Vasylenko, V. V. Supruniuk. – Rivne: NUVHP, 2017. – 206 s.
5. *Romaniuk V. V.* Osoblyvosti rozrakhunku prolotnykh konstruktsiy z perforovanykh elementiv za skladnoho napruzhenno-deformovanoho stanu (Features of the calculation of span structures from perforated elements in complex stress-strain state) [Tekst] / V. V. Romaniuk, V. V. Supruniuk // Zbirnyk naukovykh prats Ukrayinskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu. – Kharkiv: UkrDUZT, 2018. – Vypusk 175. – S. 98 – 108.
6. *Romanyuk V. V.* Eksperymentalni doslidzhennya prolotnykh konstruktsiy z perforovanykh elementiv za skladnoho napruzhenno-deformovanoho stanu (Experimental researches of flexible constructions from perforated elements at a complex stress-deformed state) [Tekst] / V. V. Romaniuk, V. V. Supruniuk // Opir materialiv i teoriya sporud: nauk. – tekh. zbirn. – K.: KNUBA, 2019. – Vyp. 103. – S. 189-200.

Стаття надійшла 30.11.2020

Романюк В.В., Супрунюк В.В.

ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ФЛАНЦЕВОГО ГРЕБЕНЕВОГО ВУЗЛА ДВОШАРІРНОЇ АРКИ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ В ЇЇ ЕЛЕМЕНТАХ

Теоретичне визначення дійсної жорсткості конькового вузла сталевий перфорованої арки здійснено з використанням методу початкових параметрів, який дозволив обчислити напруження в верхньому опорному перерізі поясу конструкції. Застосування запропонованої методики розрахунку дозволяє визначити жорсткість болтового фланцевого з'єднання з урахуванням його реальної роботи, а також змінювати її за рахунок зміни геометричних параметрів вузлових деталей, тобто, діаметра болтів або товщини фланців.

Відзначено, що при розрахунку будівельних конструкцій важливе значення має точне визначення крайових умов з'єднання вузлових елементів, що істотно впливає на перерозподіл зусиль в окремих елементах конструкцій по їх довжині і жорсткості вузлів. Особливо це стосується фланцевих болтових з'єднань. В сучасних нормах проектування використовуються ідеалізовані схеми вузлових з'єднань, які, згідно з численними дослідженнями, в повному обсязі відповідають фактичним умовам роботи вузлових з'єднань і конструкцій в цілому.

Для реалізації мети досліджень, тобто, теоретичного визначення жорсткості конькового вузла сталевий попередньо напруженої перфорованої арки, використовується метод початкових параметрів, який дозволив визначити теоретичні напруження в опорному перерізі кріплення верхнього пояса до конькового вузла арки.

Розбіжність в значеннях фактичних напружень в перетинах балки і теоретичних, розрахованих відповідно до чинних проектних правилами, пояснюється гнучкістю фланцевих болтових з'єднань, які, завдяки діючому в вузлі згинному моменту, розкриваються, хоча в теоретичних розрахунках цей вузол прийнятий абсолютно жорстким. Жорсткість залежить від товщини фланців, діаметра болтів, відстаней між ними, значень попереднього натягу болтів і зовнішнього навантаження.

Зроблено висновок про те, що застосування запропонованої методики розрахунку дозволяє визначити жорсткість болтового фланцевого з'єднання з урахуванням його фактичної роботи, і яка, згідно з експериментальними дослідженнями і теоретичними розрахунками, відрізняється від ідеалізованих схем розрахунку. Крім того, методика дозволяє змінити жорсткість болтового з'єднання, змінюючи діаметр болтів або товщину фланців, а також використовувати додатковий ресурс матеріалу за рахунок деякого зменшення максимальних напружень в ослаблених перетинах елементів.

Ключові слова: болт, з'єднання, фланець, несуча здатність, опір, жорсткість, кріплення, арка, коньковий вузол.

Romaniuk V. V., Supruniuk V. V.

INFLUENCE OF RIGIDITY OF A FLANGE RIDGE KNOT OF A DOUBLE HINGED ARCH ON THE REDISTRIBUTION OF EFFORTS IN ITS ELEMENTS

The theoretical determination of the actual stiffness of the ridge knot of a steel perforated arch was carried out using the initial parameter method, which made it possible to calculate the stress in the upper reference section of the structure belt. The application of the proposed calculation method makes it possible to determine the rigidity of the bolted flange connection, taking into account its actual operation, and to change it by changing the geometrical parameters of the nodal details, that is, the diameter of the bolts or the thickness of the flanges.

It is marked that in the calculation of building constructions an important value has exact determination of boundary conditions of connection of nodal elements, that substantially influences on the redistribution of efforts in the separate elements of constructions on their length and rigidity of knots. Especially it touches of flange bolted joints. Current design rules use idealized schemes of nodal joints, which, according to numerical researches, do not fully correspond to the actual operating conditions of nodal joints and constructions on the whole.

For realization of aim of researches, that is, theoretical determination of rigidity of ridge knot of the steel preliminary tense perforated arch, the method of initial parameters is used, which allowed to define theoretical tensions in the supporting cut of fastening upper belt to the ridge knot of arch.

Divergence in the values of actual tensions in the cuts of beam and theoretical, calculated according to the current design rules, is explained by the flexibility of the flanged bolted joints, that due to the actions in the knot of bending moment opens up, although in theoretical calculations this joint is accepted by absolutely rigid. Rigidity depends on the thickness of flanges,

diameter of bolts, the distances between them, the values of the previous tension of the bolts and external loading.

The conclusion is set forth, that the application of the offered methodology of calculation allows to define the rigidity of the bolted flanged joint taking into account its actual work, and which, according to experimental researches and theoretical calculations, differs from the idealized calculation schemes. In addition the proposed methodology allows to change the rigidity of the bolted joint, changing the diameter of the bolts or the thickness of the flanges, and also to use the additional resource of material due to some reduction of the maximum tensions in weak cuts of elements.

Keywords: bolt, joint, flange, bearing capacity, strength, rigidity, fastening, arch, ridge knot.

Романюк В. В., Супрунюк В. В.

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ФЛАНЦЕВОГО КОНЬКОВОГО УЗЛА ДВУХШАРНИРНОЙ АРКИ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ЕЕ ЭЛЕМЕНТАХ

Теоретическое определение действительной жесткости конькового узла стальной перфорированной арки осуществлено с использованием метода начальных параметров, который позволил вычислить напряжения в верхнем опорном сечении пояса конструкции. Применение предложенной методики расчета позволяет определить жесткость болтового фланцевого соединения с учетом его реальной работы, а также изменять ее за счет изменения геометрических параметров узловых деталей, то есть, диаметра болтов или толщины фланцев.

Ключевые слова: болт, соединение, фланец, несущая способность, сопротивление, жесткость, крепление, арка, коньковый узел.

УДК 624.014

Романюк В.В., Супрунюк В.В. **Вплив жорсткості фланцевого гребеневого вузла двохшарнірної арки на перерозподіл зусиль в її елементах** // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2021. – Вип. 106. – С. 236-246.

Теоретичне визначення дійсної жорсткості гребеневого вузла сталевий перфорованої арки здійснено з використанням методу початкових параметрів, який дозволив обчислити напруження у верхньому опорному перерізі поясу конструкції. Застосування запропонованої методики розрахунку дозволяє визначити жорсткість болтового фланцевого з'єднання з урахуванням його дійсної роботи, а також змінювати її за рахунок зміни геометричних параметрів вузлових деталей, тобто, діаметру болтів або товщини фланців.

Табл. 2. Іл. 4. Бібліогр. 6 назв.

UDC 624.014

Romaniuk V.V, Supruniuk V.V. **Influence of rigidity of a flange ridge knot of a double hinged arch on the redistribution of efforts in its elements** // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-&-Technical collected articles. – Kyiv.: KNUBA, 2021. – Issue 106. – P. 236-246.

The theoretical determination of the actual stiffness of the ridge knot of a steel perforated arch was carried out using the initial parameter method, which made it possible to calculate the stress in the upper reference section of the structure belt. The application of the proposed calculation method makes it possible to determine the rigidity of the bolted flange connection, taking into account its actual operation, and to change it by changing the geometrical parameters of the nodal details, that is, the diameter of the bolts or the thickness of the flanges.

Tabl. 2. Fig.4. Ref. 6.

УДК 624.014

Романиук В.В., Супрунюк В.В. Влияние жесткости фланцевого конькового узла двухшарнирной арки на перераспределение усилий в ее элементах // Сопротивление материалов и теория сооружений: науч.-тех. сборн. – К.: КНУСА, 2020. – Вып. 106. – С. 236-246.

Теоретическое определение действительной жесткости конькового узла стальной перфорированной арки осуществлено с использованием метода начальных параметров, который позволил вычислить напряжения в верхнем опорном сечении пояса конструкции. Использование предложенной методики расчета позволяет определить жесткость болтового фланцевого соединения с учетом его реальной работы, а также изменять ее за счет изменения геометрических параметров узловых деталей, то есть, диаметра болтов или толщины фланцев.

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доцент, кандидат технічних наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд НУВГП Романюк Володимир Володимирович.

Адреса: 33028 Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11, Національний університет водного господарства та природокористування, кафедра промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Мобільний тел.: +38(096) 804-31-77

E-mail: v.v.romaniuk@nuwm.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2539-4654>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів НУВГП Супрунюк Володимир Володимирович.

Адреса: 33028 Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11, Національний університет водного господарства та природокористування, кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів.

Мобільний тел.: +38(097) 732-99-01

E-mail: v.v.supruniuk@nuwm.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-4460>