

Удосконалення методики розрахунку зварних швів фланцевих вузлових з'єднань із врізаними ребрами жорсткості просторових сталевих ферм з труб

Сергій Білик¹, Артем Білик², Євген Цюпин³,
Валерій Нужний⁴, Тетяна Ключниченко⁵

^{1,2,3,4,5}Київський національний університет будівництва і архітектури,
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹vartist@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

²artem.bilyk@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9219-920X>

³standartbc@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9428-6166>

⁴nuzhnyy@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0400-3204>

⁵t.klyush@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7592-9338>

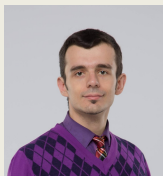
DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.57-65

Анотація. У даній статті розроблено інженерну методику визначення зусиль у зварних швах фланцевого з'єднання з ребрами жорсткості сталевих ферм з труб (циркульних порожнистого перерізу елементів). Розглянуто фланцеві з'єднання поясів ферм, в яких виникають зусилля розтягу. Методику побудовано на робочій гіпотезі, що зусилля розтягу сприймає зварний шов по торцю труби, який приєднує трубу до фланця, і зварні шви приєднання ребер жорсткості до фланця. Така конструкція фланця з хрестоподібними врізаними ребрами жорсткості дозволяє рівномірно передати зусилля від фланця до трубчатих елементів сталевих ферм. В такому вузлі передача зусилля відбувається через зварні шви від фланця до врізаних ребер жорсткості та через зварні шви приєднання труб до фланця. Методику побудовано на робочих гіпотезах, по перше, що зусилля розтягу сприймається зварними швами по торцю труби і по торцям хрестоподібних ребер жорсткості за законами умов рівноваги. Друга гіпотеза прийнята така, що по торцю труби, зусилля у зварних швах розподіляються нерівномірно – прямо-пропорційно відстані від болта то зварного шва по контуру труби. Отримані аналітичні залежності розподілення зусиль в зварних швах між ребрами жорсткості і трубою в місті приєднання до фланця. Також отримані аналітичні залежності нерівномірного розподілення зусиль по зварним швам по торцю труби в місті приєднання до фланця. Виявлені ефекти підтверджені розрахунком просторової моделі фланцевого вузлу з врізаними



Сергій Білик

завідувач кафедри, професор кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, д.т.н., проф.



Артем Білик

доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, к.т.н., доц.



Євген Цюпин

асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій



Валерій Нужний

асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій



Тетяна Ключниченко

Старший викладач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій

(вбудованими) ребрами жорсткості методом скінчених елементів. Отримана за двома методами добре якісне співпадіння числових співвідношень нерівномірного розподілення зусиль

у зварних швах приєднання до фланця трубчатого елемента з врізаними ребрами жорсткості.

Методика універсальна і може бути розповсюджена на кілька типів конструктивних рішень фланцевих вузлів сталевих ферм.

Ключові слова. Фланцеві вузли; напруження; зварні шви; розрахункові зусилля; сталеві ферми; трубчаті сталеві елементи; ребра жорсткості.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження дозволяють визначити нерівномірність розподілення зусиль у зварних швах і, відповідно, максимальні напруження в зварних швах з'єднання труб із фланцями. Дана стаття присвячена визначенню розрахункових зусиль у зварних швах фланцевих з'єднань з врізаними ребрами.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Існують відомі нормативні документи для розрахунку фланцевих вузлів рамних конструкцій при передачі значних згинальних моментів через такі вузли [1,2,3,4]. Розроблено нові методики розрахунку фланцевих з'єднань сталевих рам [5,6,10, 11,13]. Є необхідність провести додаткові дослідження для нових конструктивних рішень сталевих рам ферм і куполів [7,8,9], та для вузлів унікальних споруд [10,14]. Необхід-

ність вдосконалення розрахункових положень обумовлена також встановленням дійсної роботи вузлів після довготривалої експлуатації та при розрахунку вузлів на живучість [10,12,14].

Важливим є розвиток програмних продуктів методом скінченних елементів для розрахунку вузлових з'єднань [5,10 15,16] та порівняння отриманих результатів із аналітичними методами. Досліджень нерівномірності розподілення зусиль у зварних швах фланцевих з'єднань з врізаними ребрами жорсткості трубчатих ферм недостатньо. Тому виникає необхідність проведення додаткових досліджень для аналізу таких з'єднань. Є важливим визначення дійсного резерву несучої здатності фланцевих вузлів ферм із урахуванням початкових недосконалоостей і дефектів, отриманих під час експлуатації (рис.1).

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо вузлове фланцеве з'єднання із врізаними ребрами жорсткості поясів ферм (рис.1,2).

Прийнято, що в трубах радіусом по зовнішньому діаметру (r_{tr}) діє зусилля розтягу. Фланці виконані із сталі 09Г2С, сталь труб - згідно технічної специфікації проекту. Фланці мають врізані ребра жорсткості (рис.1).



Рис. 1. Сталеві оцинковані конструкції з трубчатих елементів для автоматичних систем управління дорожнім рухом.

Fig. 1. Galvanized steel structures made of circular hollow sections (CHS) elements for automatic traffic control systems.

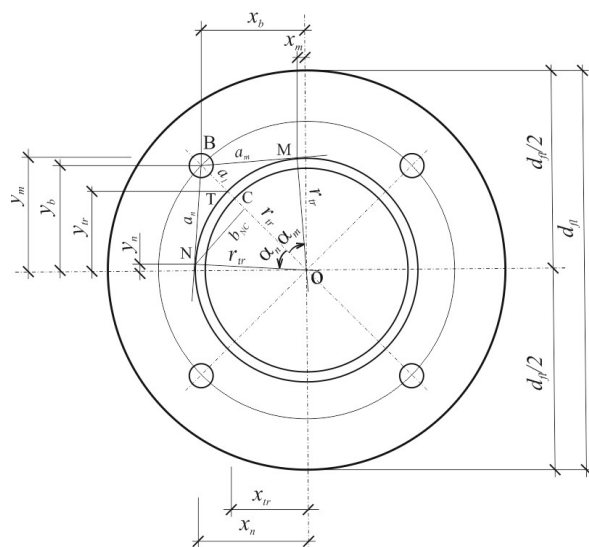


Рис. 2. Загальна геометрична схема для розрахунку розподілення зусиль у зварному шві труби і фланця.

Fig. 2. General geometric diagram for calculating the distribution of forces in the weld of the CHS-element and flange.

Фланці приєднані до ребер жорсткості і по зовнішньому периметру труб вертикальними зварними швами ($l_{tr} = \pi d_{tr}$). Крім того, ребра жорсткості приєднані до труби повздовжніми швами, що забезпечує передачу зусилля рівномірно на трубу, тобто не тільки за рахунок зварних швів по торцю труби.

За робочу гіпотезу прийнято, що передача зусилля від фланця до труби відбувається симетрично по вісі болта, яка проходить через центр фланця. Передача розтягуючого зусилля (N_{wtr}) в зварному шві по торцю труби прямо пропорційна відстані від центру болта до зовнішнього зварного шва по торцю труби (рис.2) при поточних зусиллях у шві $N_{\alpha fwtr}$.

$$N_{\alpha fwtr} = N_{\Gamma fwtr} \frac{a_1}{a_i} \quad (1,а)$$

$$N_{wtr} = 4 \int_{l_{fr}} N_{\alpha wtr} dl_{tr} = 4 \frac{N_{\Gamma fwtr}}{l_{fr}} \int_{l_{fr}} \frac{a_1}{a_i} dl_{tr} \quad (1,б)$$

При відношеннях $dl_{fr} = r_{tr} d\alpha$, $a_i d\beta = r_{tr} d\alpha$,

$$d\beta = \frac{r_{tr}}{a_i} d\alpha \text{ маємо:}$$

$$N_{wtr} = \frac{4N_{\Gamma fwtr}}{l_{fr}} \int_0^{l_{tr}} \frac{a_1}{a_i} a_i d\beta = \frac{4N_{\Gamma fwtr}}{l_{fr}} a_1 \int_0^{2\beta_m} d\beta \quad (1,в)$$

$$N_{\Gamma fwtr} = \frac{N_{\Gamma fwtr}}{l_{fr}} 2 \int_0^{\alpha_m} \frac{a_1}{a_i} r_{tr} d\alpha$$

Загальна довжина зварного шва по торцю труби (l_{fr}) буде:

$$l_{fr} = 4l_{1fr} = 8r_{tr} \int_0^{\alpha_m} d\alpha = 8r_{tr} \alpha_m \quad (2,а)$$

З розрахунку в одному секторі відповідно до 1 болта:

$$l_{1fr} = 2r_{tr} \int_0^{\alpha_m} d\alpha = 2r_{tr} \alpha_m \quad (2,б)$$

В формулах (1) як $\frac{N_{\Gamma fwtr}}{l_{fr}}$ - позначено

приведене усереднене зусилля у одиниці довжини зварного шва – приведений параметр зусилля у зварному шві по торцю труби.

Рівновага зусиль зварних швів та розтягуючого зусилля в болтах має запис:

$$N_{fl} = 4N_{bt} = 4N_{1wtr} + 8N_{wr1} \quad (3)$$

$$N_{bt} = N_{1wtr} + 2N_{wr1}$$

Рівновага згинальних моментів відносно центру зварного шва і центру фланця має

вид

$$\begin{aligned} N_{bt}(r_{tr} + a_1) - r_{tr}N_{1wtr} - N_{wr1}d_{fl} &\leq 0 \\ N_{bt}a_1 - N_{wr1}d_{fl} &\leq 0 \rightarrow N_{wr1} \geq \frac{N_{bt}a_1}{d_{fl}} \end{aligned} \quad (4)$$

В крайніх формулах введені позначення: N_{bt} - зусилля у одному болті, N_{wr1} - зусилля у одному зварному шві по торцю ребра жорсткості з одного боку від центру.

Таким чином, рівняння рівноваги (3) і (4) утворюють систему з двома невідомими: N_{1wr} ; N_{1wtr} .

З рівняння (3) знаходимо співвідношення між зусиллями в зварних швах по торцю труби і по торцям ребер жорсткості фланця

$$\begin{aligned} N_{bt}a_1 - N_{wr1}d_{fl} &\leq 0 \\ 2N_{wr1} &= N_{bt} - N_{1wtr} \\ N_{1wtr} &= N_{bt} - 2N_{wr1} \end{aligned} \quad (5)$$

Підставивши рівняння (4) в (5), отримуємо рекурентну формулу визначення зусилля в зварних швах:

$$\begin{aligned} N_{wr1} &= N_{bt} - 2N_{bt} \frac{a_1}{d_{fl}} \\ N_{1wtr} &= N_{bt} \left(1 - 2 \frac{a_1}{d_{fl}} \right) \\ \frac{N_{1wtr}}{N_{bt}} &= \left(1 - 2 \frac{a_1}{d_{fl}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Основні позначення для геометричних характеристик вузла наступні (рис.2): r_{tr} ; d_{tr} - відповідно радіус та діаметр труби зовнішнього контуру; a_1 ; a_m ; a_n - мінімальні відстані від центру болта до труби (BT) - (a_1), відстань дотичній до зовнішнього контуру труби (BN) - (a_n), відстань дотичній до зовнішнього контуру труби (BM) - (a_m), a_i - поточна відстань від центру болта до труби. Координати точки центру болта (\cdot). В позначені через x_b ; y_b . Відповідно координати (\cdot)M - позначені через x_m ; y_m , а точки (\cdot)N - x_n ; y_n .

Відстані від центру болта до труби за

рис.2 будуть при $a_m = a_n$.

$$\begin{aligned} a_1 &= \sqrt{(x_b - x_{tr})^2 + (y_b - y_{tr})^2} \\ a_m &= \sqrt{(x_b - x_m)^2 + (y_b - y_m)^2} \\ a_n &= \sqrt{(r_{tr} + a_1)^2 - r_{tr}^2} = \sqrt{(2r_{tr}a_1 + a_1^2)} \end{aligned} \quad (7)$$

Кут нахилу осі болта до горизонтальної осі труби прийнято ($\alpha_n = \alpha_m = \pi / 4$):

Максимальний кут до точки дотичної від центру болта (α_m) - буде знайдений з співвідношення сторін прямокутного трикутника Δ ВМО:

$$\begin{aligned} \cos(\alpha_m) &= \frac{r_{tr}}{(r_{tr} + a_1)} \\ \cos(\alpha_m) &= \frac{1}{1 + \frac{a_1}{r_{tr}}} \end{aligned} \quad (8)$$

Відстань від центру болта до точки дотичної до зовнішнього діаметру труби визначиться з прямокутного трикутника Δ NCO:

$$\begin{aligned} a_n &= \sqrt{(a_1 + r_{tr} - r_{tr} \cos \alpha_n)^2 + r_{tr}^2 \sin^2 \alpha_n} \\ a_i &= \sqrt{(a_1 + r_{tr})^2 - 2(a_1 + r_{tr})r_{tr} \cos \alpha_i + r_{tr}^2} \\ \frac{a_n}{r_{tr}} &= \sqrt{\left(\frac{a_1}{r_{tr}} + 1 \right)^2 - 2 \left(\frac{a_1}{r_{tr}} + 1 \right) \cos \alpha_n + 1} \end{aligned} \quad (9)$$

Поточні координати відстані від центру болта (\cdot)В до труби (a_{inm}) від точки (\cdot)N до точки (\cdot)M через точку (\cdot)Т залежать від координати точки на зовнішньому контурі труби (x_{itr} ; y_{itr}) і координат центру болта:

$$a_i = a_{inm} = \sqrt{(x_b - x_{itr})^2 + (y_b - y_{itr})^2}.$$

Відповідно відстань від центру болта до поточної точки на зовнішньому діаметру труби також може бути записана так:

$$\begin{aligned} a_i^2 - (a_1 + \Delta_r)^2 &= r_{tr}^2 - (r_{tr} - \Delta_r)^2, \Delta_r = r_{tr}(1 - \cos \alpha_i). \\ a_i^2 - a_1^2 - 2a_1 \Delta_r - \Delta_r^2 &= r_{tr}^2 - r_{tr}^2 - \Delta_r^2 + 2\Delta_r r_{tr}. \end{aligned}$$

Тоді $a_i^2 = a_1^2 + 2\Delta_r a_1 + 2\Delta_r r_{tr}$, і у скороченому вигляді остання формула набуває ви-

ду

$$a_i = \sqrt{a_1^2 + 2\Delta_r (a_1 + r_{tr})},$$

або:

$$\frac{a_i}{a_1} = \sqrt{1 + 2 \frac{r_{tr}}{a_1} \left(\frac{r_{tr}}{a_1} + 1 \right) (1 - \cos \alpha_i)}$$

$$\frac{a_1}{a_i} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \frac{r_{tr}}{a_1} \left(\frac{r_{tr}}{a_1} + 1 \right) (1 - \cos \alpha_i)}} \quad (10)$$

Розрахункова довжина зварного шва в чверті торця труби, (l_{1ftr}) з урахуванням формули (2 і 8) буде мати вигляд:

$$\frac{l_{1ftr}}{r_{tr}} = 2\alpha_m = \arccos\left(\frac{1}{1 + \frac{a_1}{r_{tr}}}\right) \quad (11)$$

Повертаючись до рівняння (1,в), і знаючи (10), можна відносно значення $\frac{N_{1fwtr}}{l_{1ftr}}$ у зварному шві по торцю труби визначити з відношення:

$$N_{1wtr} = N_{1fwtr} \frac{r_{tr}}{l_{1ftr}} 2 \int_0^{\alpha_m} \frac{a_1}{a_i} d\alpha$$

$$N_{1wtr} = 2 \frac{N_{1fwtr}}{l_{1ftr}} r_{tr} \int_0^{\alpha_m} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 + 2 \frac{r_{tr}}{a_1} \left(\frac{r_{tr}}{a_1} + 1 \right) (1 - \cos \alpha_i)}} \quad (12)$$

Відповідно напруження в зварному шві при катеті:

$$\frac{N_{1fwtr}}{k_1 f l_{1ftr}} = \frac{\left(\frac{N_{1wtr}}{2k_1 r_{tr}} \right)}{k_r \int_0^{\alpha_m} \sqrt{1 + 2 \frac{r_{tr}}{a_1} \left(\frac{r_{tr}}{a_1} + 1 \right) (1 - \cos \alpha_i)} d\alpha} \quad (13)$$

Відношення дійсного зусилля у зварному шві до приведенного значення є величина постійна, за формулою (11) слід врахувати

$a_i = \sqrt{a_1^2 + 2r_{tr} (1 - \cos \alpha_i) (a_1 + r_{tr})}$. Тепер відно-

шення ($\frac{a_i}{a_1}$) має аналітичний запис:

$$\frac{l_{1ftr}}{r_{tr}} = 2\alpha_m.$$

$$\frac{N_{1wtr}}{N_{1fwtr}} = \frac{N_{wtr}}{4N_{1fwtr}} = \frac{1}{2\alpha_m} \int_0^{\alpha_m} \frac{a_1}{a_i} d\alpha \quad (14)$$

Остаточню

$$N_{1fwtr} = 2\alpha_m \frac{N_{1wtr}}{\int_0^{\alpha_m} \frac{a_i}{a_1} d\alpha} \quad (15)$$

Поточне відносне значення зусилля в зварному шві буде

$$\frac{N_{\alpha fwtr}}{N_{1fwtr}} = \frac{a_1}{a_i} \cdot \frac{N_{\alpha fwtr}}{2\alpha_m \frac{N_{1wtr}}{\int_0^{\alpha_m} \frac{a_i}{a_1} d\alpha}} = \frac{a_1 a_i}{a_i} \rightarrow$$

$$\frac{N_{\alpha fwtr}}{N_{1wtr}} = \frac{2\alpha_m}{\int_0^{\alpha_m} \frac{a_i}{a_1} d\alpha} \frac{a_1}{a_i}. \quad (16)$$

Проведені числові дослідження показника фактору зміни зусиль у зварному шві (16) в залежності від розподілення по довжині шва, представлені у вигляді графіка, див. рис.3.

Дослідження, які здійснювалися в комплексі IDEA STATICA 20.1.3471.1 [16], показали, що розподілення зусиль по довжині зварного шва відбуваються нерівномірно, нерівномірність розподілення суттєва, так як максимальні напруження перевищують мінімальні в 2 рази.

Виконані дослідження фланцевого з'єднання методом скінченних елементів показали, що існують певні крайові ефекти, які підтвердили сплеск напружень

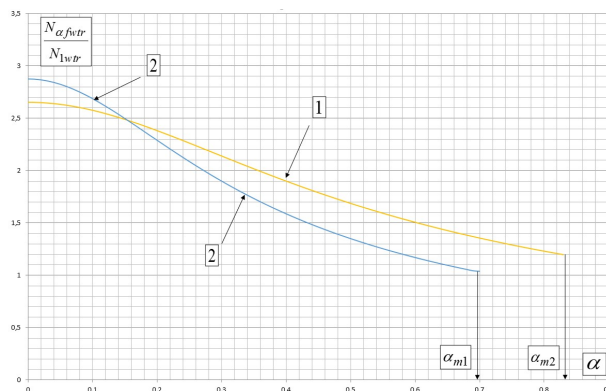


Рис.3 Зміна фактору зусиль у зварному шві в залежності від розподілення по довжині шва

Fig.3 Changing of the forces factor in a weld depends on it length distribution

$\frac{N_{\alpha fwtr}}{N_{1wtr}}$ в залежності від полярної координати кута $0 \leq \alpha \leq \alpha_m$ точки зварного шва на торці труби:

графік 1 - при $\frac{a_1}{r_{tr}} = 0,5$; графік 2 - при $\frac{a_1}{r_{tr}} = 0,3$.

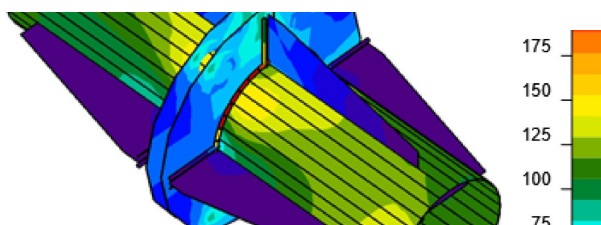


Рис.4 Нерівномірність розподілення зусиль в 4-болтовому фланцевому з'єднанні сталевих трубчатих ферм в нижньому поясі. Зміна напружень по торцевому стику фланцевих пластин і труби до 2 разів.

Fig.4 Uneven distribution of forces in the 4-bolt flange connection of steel CHS-trusses in the lower chord. Stresses changing at the end joint of flange plates and CHS up to 2 times.

Таким чином, коли відомі всі характеристики зварного шва, запропоновано наступний підхід перевірки несучої здатності зварних швів фланцевого з'єднання. Сумарне значення вертикальних горизонтальних швів приєднання ребер жорсткості фланця позначено через $\sum_{k=8} l_{wfij}$, при катеті шва k_{fr} .

Загальна розрахункова довжина зварного шва приєднання труби до фланця по торцю труби має аналітичний вираз згідно проведеним дослідженням і прийнятим гіпотезам за формулою (11):

$$l_{ftr} = 2\alpha_m r_{tr} = r_{tr} \arccos\left(\frac{1}{1 + \frac{a_1}{r_{tr}}}\right), \text{ при катеті}$$

зварного шва - k_{f1} .

Сумарна площа зварних швів приєднання фланцю до труб через ребра жорсткості

буде

$$A_{wf} = A_{wfr} + A_{wtr} = \sum_{k=8} l_{wfij} k_{fr} + 4\left(k_{f1}\right) l_{ftr}$$

При дії зусилля розтягу - N_{tr} в поясі ферм, розрахункове зусилля, яке передається до фланця через ребра жорсткості (N_{wfr}) і зусилля ($N_{wtr} = 4N_{1wtr}$), яке сприймають зварні шви по торцевому контуру труби - будуть визначитися з формул рівноваги (5,6):

$$\begin{aligned} N_{1wtr} &= N_{bt} \left(1 - 2 \frac{a_1}{d_{fl}}\right) \\ \frac{N_{1wtr}}{N_{bt}} &= \left(1 - 2 \frac{a_1}{d_{fl}}\right) \\ N_{wr1} &\geq \frac{N_{bt} a_1}{d_{fl}} \end{aligned} \quad (17)$$

Визначення міцності зварного шва треба виконувати із урахуванням нерівномірності розподілення зусиль в зварному шва, формула (16,17).

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Теоретичний підхід розроблено для більш точного розрахунку зварних швів фланцевих з'єднань з врізаними ребрами жорсткості сталевих ферм з трубчастих порожнистих елементів.

Нова методика розрахунку дає можливість визначити нерівномірність розподілення зусиль в зварних швах приєднання фланцевого з'єднання до трубчастих елементів. Порівняння результатів дослідження з результатами розрахунку вузла методом скінченних елементів показали якісний збіг.

Методика може бути використана для розрахунку зварних швів багато-болтових фланцевих вузлів із ребрами жорсткості сталевих ферм з елементами, які мають круглий, квадратний або прямокутний порожнистий замкнений переріз.

ЛІТЕРАТУРА

1. **EN 1993-1-8 (2005)** (English): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.8.2005-1.pdf>
2. Joints in Steel Construction Moment Connections. *The Steel Construction Institute, 1997.*
https://www.steelconstruction.info/images/5/5d/SCI_P398.pdf
3. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций / «Промстальконструкция»; ЦНИИПСК им. Мельникова. – М., 1988. – 83 с.
4. Руководство по проектированию, изготовлению и сборке монтажных фланцевых соединений стропильных ферм с поясами из ши-

- рокопальных двутавров / ЦНИИПСК им. Мельникова. – М., 1981.
5. **Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Юрченко В.В.** Расчетные модели фланцевых соединений рамных узлов металлических конструкций и их программная реализация в SCAD office / Э.З.Криксунов, А.В.Перельмутер, В.В. Юрченко // *Бюллетень строительной техники.* – 2010. – № 1. – С. 56–59.
 6. **Сон М.П.** Экспериментальные исследования прочности фланцевых соединений / М.П.Сон // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.* – 2018. – 14(4).- С.348-356.
DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-4-348-356
<https://docplayer.ru/139541780-Experimentalnye-issledovaniya.html>
 7. **Bilyk S.I., Bilyk A.S., Nilova T.O., Shpynda V.Z., Tsyupyn E.I.** Buckling of the steel frames with the I-shaped cross-section columns of variable web height // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2018.* – Issue 100. – P. 140-154.
<http://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/12/201604.pdf>
 8. **Semchuk I.Y., Nilova T.O.** Stress-strain state of beam corrugated web under patch loading // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2019.* – Issue 102. – P. 53-61.
<http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/08-102.pdf>
 9. **Bilyk Sergiy, Tonkacheiev Vitaliy.** Determining sloped-load limits inside von Mises truss with elastic support. *Materiali in tehnologije., Ljubljana, Slovenija 52 (2018), 105-109,* doi:10.17222/mit.2016.083
<http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit182/bilyk.pdf>
 10. **Білик С. І., Бут М.О., Шпинда В.З.** Аналіз розрахунку болтів фланцевого з'єднання в умовах складного напружено - деформованого стану / Білик С. І., Бут М.О., Шпинда В.З. // : Зб. наук. праць УНДПІСК ім. В. М. Шумановського. – К. : Вид-во “Сталь”, 2014. – Вип. 4. – С. 76–84.
 11. **Jaspart J. P.** General report: session on connections // *Journal of Constructional Steel Research.* – 2000. – Vol. 55. – P. 69–89.
<http://orbi.uliege.be/bitstream/2268/29809/1/analytical%20study.pdf>

12. **Jaspart J.P., Demonceau J.F. Luu H.N.N.** Numerical, analytical and experimental investigations on the response of steel and composite buildings further the loss of a column // *Conference: Colloquium on structural design of constructions subjected to exceptional or accidental actions, Belgium Bruxelles, 2008*. – P.69-90
<https://www.researchgate.net/publication/265927297>
13. **Urbonas K., Daniunas A.** Component method extension to steel beam-to-beam and beam-to-column knee joints under bending and axial forces // *Journal of Civil Engineering and Management*.-2005. – 11(3) - P. 217-224.
DOI: 10.1080/13923730.2005.9636353
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13923730.2005.9636353>
14. **Daurov M.K., Bilyk A.S.** Providing of the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2019*. – Issue 102. – P. 62-68.
<http://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/4701/07-102.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. **Gorodetsky A. S, Pikul A.V. Pysarevskiy B. Y.** Modelling of soil behavior in dynamic load // *International Journal for computational Civil and Structural Engineering*. 2017. – 13(3).- C.34-41.
16. Capacity design of steel joints progettazione in capacità dei giunti in acciaio // *Vild M., Bajer M., Wald F. Šabatka L., Kolaja D./ XXVII CONGRESSO C.T.A. - 2019 - 8 p*
https://www.eiseko.com/public/mat/file/IDEA/Depliant/Capacity_design_of_steel_joints_fil.pdf
3. Recommendations for the calculation, design, manufacture and installation of flange joints of steel building structures / "*Indsteelstructure*"; N.P. Melnikov Central Research and Design Institute of Steel Structures. - M., 1988. – P. 83.
4. Guidelines for the design, manufacture and assembly of mounting flange connections of roof trusses with chords of wide flange I-beams / N.P. Melnikov Central Research and Design Institute of Steel Structures. - M., 1981.
5. **Kriksunov E.Z., Perelmuter A.V., Yurchenko V.V.** Design models of flange connections of frame joints of metal structures and their software implementation in SCAD office / E.Z. Kriksunov, A.V. Perelmuter, V.V. Yurchenko // *Bulle-shadow of construction equipment*. - 2010. - No. 1. - P. 56–59.
6. **Son M.P.** Experimental studies of the strength of flange connections / M.P. Son // *Structural mechanics of engineering structures and structures*. - 2018 - 14 (4). - P. 348-356.
DOI: 10.22363 / 1815-5235-2018-14-4-348-356
<https://docplayer.ru/139541780-Eksperimentalnye-issledovaniya.html>
7. **Bilyk S.I., Bilyk A.S., Nilova T.O., Shpynda V.Z., Tsyupyn E.I.** Buckling of the steel frames with the I-shaped cross-section columns of variable web height // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2018*. – Issue 100. – P. 140-154
<https://154.library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/12/201604.pdf>
8. **Semchuk I.Y. , Nilova T.O.** Stress-strain state of beam corrugated web under patch loading // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2019*. – Issue 102. – P. 53-61.
<http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/08-102.pdf>
9. **Bilyk Sergiy, Tonkacheiev Vitaliy.** Determining sloped-load limits inside von Mises truss with elastic support. *Materiali in tehnologije., Ljubljana, Slovenija* 52 (2018), 105-109,
doi:10.17222/mit.2016.083
<http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit182/bilyk.pdf>
10. **Bilyk SI, But MO, Shpynda VZ.** Analysis of the calculation of bolts of the flange connection in conditions of a complex stress - strain state / Bilyk SI, But MO, Shpynda VZ. WITH. //: *Coll. Science. works UNDPISK them. VM Szymanowski. - K.: Rel. "Steel", 2014. - Rel. 4. - P. 76–84*

REFERENCES

1. EN 1993-1-8 (2005) (English): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints [Authority: *The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC*]
<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.8.2005-1.pdf>
2. Joints in Steel Construction Moment Connections. *The Steel Construction Institute, 1997*.
https://www.steelconstruction.info/images/5/5d/SCI_P398.pdf

11. Jaspart J. P. General report: session on connections // *Journal of Constructional Steel Research*. –2000.–Vol. 55.–P.69–89.
<http://orbi.uliege.be/bitstream/2268/29809/1/analytical%20study.pdf>
12. Jaspart J.P., Demonceau J.F. Luu H.N.N. . Numerical, analytical and experimental investigations on the response of steel and composite buildings further the loss of a column // *Conference: Colloquium on structural design of constructions subjected to exceptional or accidental actions, Belgium Bruxelles2008*, –P.69-90
<https://www.researchgate.net/publication/265927297>
13. Urbonas K., Daniunas A. Component method extension to steel beam-to-beam and beam-to-column knee joints under bending and axial forces // *Journal of Civil Engineering and Management*.-2005. – 11(3) - P. 217-224
DOI: 10.1080/13923730.2005.9636353
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13923730.2005.9636353>
14. Daurov M.K., Bilyk A.S. Providing of the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2019. – Issue 102. – P. 62-68.*
15. Gorodetsky A. S, Pikul A.V. Pysarev-skiy B. Y. Modelling of soil behavior in dynamic load // *International Journal for computational Civil and Structural Engineering*. 2017. – 13(3).- C.34-41.
16. Capacity design of steel joints progettazione in capacità dei giunti in acciaio // *Vild M., Bajer M., Wald F. Šabatka L., Kolaja D. //XXVII CONGRESSO C.T.A.-2019 - 8 p.*
https://www.eiseko.com/public/mat/file/IDEA/Depliant/Capacity_design_of_steel_joints_fil.pdf

Improvement of the method of calculation of welds of flange joints with stiffeners of steel trusses with chs elements

Serhiy Bilyk, Artem Bilyk,
Valeriy Nujnyy, Eugen Tsyupyn,
Tetyana Kluchnichenko

Summary. In this article, an engineering method has been developed for determining the forces in the welds of a flange connection with stiffening

ribs of steel trusses with the elements made of circular hollow sections (CHS). Flange joints of truss chords, in which the calculated tensile force occurs, are considered. The methodology is based on the working hypothesis that tensile forces are perceived by the welded joint along the CHS-element's end, which connects the CHS-element to the flange, and welded joints to attach the stiffeners (ribs) to the flanges. This design of the flange with stiffeners allows the force to be transferred evenly from the flange to the CHS-elements of the steel trusses.

In such a unit, the transfer of force occurs through the welded joints from the flange to those cut-in by the stiffeners and through the welded joints of the CHS-element's end to the flange.

The methodology is based on working hypotheses. First, the tensile forces are perceived by the welded joints along the CHS-element's end and along the end faces of the cruciform stiffeners according to the laws of force equilibrium conditions: the forces from the bolts are balanced by the forces in the welded seams.

The second hypothesis is such that along the ends of the CHS-element, the forces in the welds are distributed unevenly: in direct proportion to the distance from the bolt to the weld of the CHS-element contour.

The analytical formulae of the distribution of forces in the welded flange connection between the stiffeners and the CHS-element of the trusses chord are obtained. Also, analytical formulae of the uneven distribution of forces in welds along the ends of the CHS-element, which will connect it to the flange, are obtained.

These patterns are confirmed by the calculation of the flange unit with cut-in stiffeners using the finite element method.

By two methods, a good qualitative agreement was obtained in the numerical ratios of the uneven distribution of forces in the welded joints of the truss CHS-element attached to the flange. The calculation method can be universal and extended to several types of design solutions for flange welded joints with cut-in ribs of steel trusses with CHS-elements.

Keywords. Flange joints; stresses; welds; tension forces; steel trusses; CHS stiffeners.