УДК 624.078.4

Ю.Ю. Солодовник, В.В. Рюмін

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна

АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ Т-ПОДІБНОГО КОМПОНЕНТУ ФЛАНЦЕВОГО ВУЗЛОВОГО З'ЄДНАННЯ БАЛКИ З КОЛОНОЮ НА ПІДСТАВІ ЧИСЕЛЬНОЇ МОДЕЛІ ТА НОРМ EN – 1993-1-8

Розрахунок вузлових з'єднань сталевих конструкцій є важливою частиною проєктування будівель і споруд. Найбільший інтерес для фланцевого вузлового з'єднання представляє вивчення напружено-деформованого стану до межі вичерпання його несучої здатності. У статті представлений аналіз поведінки т-подібного компоненту розтягнутої зони фланцевого з'єднання з використанням чисельної моделі та аналітичного методу за нормами Єврокоду 3.

Ключові слова: фланцеве з'єднання, чисельна модель, т-подібний компонент, болтове з'єднання.

Постановка проблеми

Взаємодія між сталевою балкою та колоною в конструкції сталевого каркасу відіграє важливу роль при сприйманні та передачі різних видів навантажень. Для детального аналізу напружено-деформованого стану конструкції необхідно мати велику кількість інформації про поведінку з'єднань і окремих елементів. Скінченоелементне моделювання болтових з'єднань достатньо складне, оскільки повинно враховувати фізичні і геометричні нелінійності, тертя, зсув, контактну взаємодію, тощо. Сучасні програмні комплекси здатні моделювати майже всі складні явища, проте труднощі все ще залишаються.

Норми проєктування EN – 1993-1-8 [1] не враховують геометричну нелінійність при великих деформаціях. Проте, напруження у фланці, поперечна сила та згинальний момент у болті можуть впливати на пластичність та стійкість. Наявність таких деформацій, як зсув стінки щодо болтів та деформація полиці, також можуть впливати на нелінійну поведінку з'єднання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Робота вузлового з'єднання може бути оцінена аналітично з використанням «компонентного методу» [2-5], який дозволяє передбачати поведінку вузлового з'єднання сталевих конструкцій на підставі даних характеристик механічних властивостей матеріалу компонентів та відповідних геометричних розмірів. За цим методом вузлове з'єднання розглядається як набір простих компонентів. Як базовий компонент, даний метод розглядає т-подібний компонент (рис.1).

Т-подібний компонент є об'єктом досліджень починаючи з 1965 року, вивчення його роботи здійснювалося з використанням аналітичних [6-9], чисельних [10-13] та експериментальних методів [14], на підставі яких зроблено загальновизнаний висновок про те, що вичерпання несучої здатності т-подібного компонента відбувається за механізмами трьох типів (рис.2):

• тип 1 – деформація болтів та розвиток пластичних деформацій у полиці;

• тип 2 – перехід у стан плинності болта з розвитком пластичних деформацій у полиці;

• тип 3 – розрив болта.

Вичерпання несучої здатності механізму першого типу відбувається при відносно невеликій товщині полиць і високому запасі міцності болтів при роботі на розтяг.

Другий механізм вичерпання несучої здатності реалізується в результаті одночасного утворення в поясі шарніру пластичності та стану плинності болтів.

Реалізація третього механізму можлива при використанні поясів значної товщини і в даному випадку руйнування болтів передує розвитку шарнірів пластичності.

Реалізація того чи іншого механізму вичерпання несучої здатності залежить від геометричних розмірів т-подібного компонента, а також характеристик міцності матеріалу поясів і болтів.



Рис. 1. Застосування «компонентного методу»: а – загальний вид вузлового фланцевого з'єднання, б - т-подібний компонент вузлового з'єднання.



Рис. 2. Сценарії деформацій т-подібного компоненту за EN – 1993-1-8 [1]: а – механізм 1, б – механізм 2, в – механізм 3

Формування мети статті

Метою даної статті є оцінка несучої здатності тподібного компонента розтягнутої зони фланцевого вузлового з'єднання з використанням методики яка викладена у EN – 1993-1-8 [1] та методів чисельного аналізу.

Виклад основного матеріалу

Характеристики механічних властивостей матеріалів т-подібного компонента, що прийняті для аналітичного розрахунку, наведені у табл.1, геометричні параметри – рис.3.

Характеристики	Значення
Межа плинності матеріалу стінки та полиці	$f_{\mathcal{Y}} = 240$ МПа
Межа міцності матеріалу стінки та полиці	<i>f_u</i> = 400 МПа
Межа плинності матеріалу болтів	f _{yb} = 900 МПа
Межа міцності матеріалу болтів	$f_{ub} = 1040 \ { m M\Pi a}$
Геометричні параметри болтів	
Діаметр отвору під болти М12	d ₀ = 13 мм
Площа перерізу болта нетто	$A_s = 84.3 \text{ mm}^2$
Діаметр головки болта	$d_w = 19$ мм
Ефективний діаметр болта	$d = 2\sqrt{\frac{A_s}{\pi}} = 10.36$ мм
Відстань від центру болта до пластичного шарніру	$e_w=rac{d_w}{4}=rac{19}{4.75}=4.75$ мм
Геометричні розміри пластин	
Відстань між отворами	<i>w</i> = 106 мм
Ширина полиці	$b_p=150$ мм
Товщина полиці	$t_f=10$ мм
Товщина стінки	$t_w = 10$ мм
Відстань до краю	$e_1 = \frac{b_p - w}{2} = \frac{150 - 106}{2} = 22$ мм
Відстань до краю у поперечному напрямку	<i>е</i> ₂ = 20 мм
Відстань між рядами болтів	<i>p</i> = 40 мм



Таблиця 1





Етап 1. Аналітичне дослідження напруженодеформованого стану т-подібного компонента за нормами EN – 1993-1-8 [1].

Розрахунок несучої здатності одного ряду болтів за табл. 6.2, 6.4 [1] для компонента «пояс колони» при згинанні.

Відстань від зварного шва до центру отвору (рис. 2)

$$m = \frac{w - t_w - 2 \cdot 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2}}{2},\tag{1}$$

 $m = \frac{106 - 10 - 2 \cdot 0.8 \cdot 7.07 \cdot \sqrt{2}}{2} = 40$ мм.

Найменша відстань до зовнішньої кромки у напрямку дії зусилля (рис. 2) становить $e_{min} = \min(e_1) = 22$ мм.

Відстань до пластичного шарніру $n = min(e_{min}, 1.25 \cdot m) = 22$ мм.

Визначаємо ефективну довжину для крайнього ряду болтів, болти працюють окремо:

_

$$l_{eff.cp} = \min (2\pi \cdot m; \pi \cdot m + 2e_1), \qquad (2)$$

$$l_{eff.nc} = \min(4m + 1.25e; 2m + 0.625e + e_1), \quad (3)$$

$$\begin{split} l_{eff.nc} &= \min \; (4 \cdot 40 + 1.25 \cdot 22; \; 2 \cdot 40 + 0.625 \cdot 22 \\ &+ 22) = \min \; (187.5 \text{mm}; \; 115.75 \text{mm}). \end{split}$$

Ефективна довжина для механізму за типом 1: $l_{eff.1} = \min (l_{eff.cp}; l_{eff.nc}) = 115.75$ мм. Ефективна довжина для механізму за типом 2:

$$l_{eff.2} = l_{eff.nc} = 115.75$$
 мм.

Коефіцієнт надійності для з'єднань $\gamma_{M2} = 1.25$ (табл. 2.1 [1]).

Несуча здатність за моментом пластичності для типу 1:

$$M_{pl.1.Rd} = \frac{l_{eff.1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{4\gamma_{M2}},$$
 (4)

$$M_{pl.1.Rd} = \frac{115.75 \cdot 10^2 \cdot 0.24}{4 \cdot 1.25} = 555.6 \,\mathrm{kH} \cdot \mathrm{mm}.$$

Несуча здатність за моментом пластичності для типу 2:

$$M_{pl.2.Rd} = \frac{l_{eff.2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{4\gamma_{M2}},\tag{5}$$

 $M_{pl.2.Rd} = M_{pl.1.Rd} = 555.6 \ \kappa H \cdot M M.$ Несуча здатність одного болта при розтягуванні:

$$F_{t.Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}},\tag{6}$$

$$F_{t.Rd} = \frac{k_2 = 0.9}{\frac{0.9 \cdot 1,04 \cdot 84.3}{1.25}} = 63.12 \text{ kH}.$$

Кількість болтів у ряду $n_{bolt} = 2$. Несуча здатність при продавлюванні:

$$B_{p.Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_w \cdot t_f \cdot f_u}{\gamma_{M2}},\tag{7}$$

$$B_{p.Rd} = \frac{0.6 \cdot 3,14 \cdot 19 \cdot 10 \cdot 0.4}{1.25} = 114.55 \text{ kH}.$$

Несуча здатність відповідно до вказівок [1] табл.6.2, виникнення пластичних шарнірів у полиці:

$$F_{T.1.Rd} = \frac{(8n - 2e_w) \cdot M_{pl.1.Rd}}{2m \cdot n - e_w \cdot (m+n)},$$
(8)

$$F_{T.1.Rd} = \frac{(8 \cdot 22 - 2 \cdot 4.75) \cdot 555.6}{2 \cdot 40 \cdot 22 - 4.75 \cdot (40 + 22)} = 63.12 \text{ kH}.$$

Другий механізм вичерпання несучої здатності:

$$F_{T.2.Rd} = \frac{2M_{pl.2.Rd} + n \cdot \sum_{i=1}^{n_{bolt}} F_{t.Rd}}{(m+n)},$$
(9)

$$F_{T.2.Rd} = \frac{2 \cdot 555.6 + 22 \cdot \sum_{1}^{2} 63.12}{(40 + 22)} = 62.72 \text{ kH},$$
$$n = e_{min} = 22 \text{ MM}$$

Руйнування болтів:

$$F_{T.3.Rd} = \sum_{i=1}^{n_{bolt}} F_{t.Rd} = \sum_{1}^{2} 63.12 = 126.24 \text{ kH.} \quad (10)$$

Граничне зусилля визначається як мінімальне значення:

$$F_{T.single.Rd} = min (F_{T.1.Rd}; F_{T.2.Rd}; F_{T.3.Rd}),$$

 $F_{T.single.Rd} = min(63.12 \text{ kH}; 62.73 \text{ kH}; 126,24 \text{ kH})$

$$B_{p.Rd} \cdot n_{bolt}$$

Розрахунок несучої здатності при спільній роботі рядів болтів за табл. 6.2, 6.4 [1] для компонента «пояс колони» при згинанні. Найкоротша відстань до зовнішньої кромки пластини у напрямку дії зусилля $e_{min} = \min(e_1) = 22$ мм.

Визначаємо ефективну довжину для крайнього ряду болтів, болти працюють у складі групи:

- таблиця 6.4 [1] - розташування не по колу -

$$l_{eff.nc} = \min(2m + 0.625e + 0.5p; e_1 + 0.5p), \quad (11)$$

$$l_{eff.cp} = \min(\pi \cdot m + p; 2e_1 + p),$$
 (12)

 $l_{eff.cp} = \min(3.14 \cdot 40 + 40; 2 \cdot 22 + 40)$

= min (165.6 мм; 84 мм).

Ефективна довжина для другого ряду болтів буде такою самою, як і для першого.

Відповідно до таблиці 6.4 [1] - розташування не по колу

$$\sum_{i=1}^{2} l_{eff.nc}, \qquad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{2} 42 = 84$$
 MM.

Відповідно до таблиці 6.4 [1] - розташування по колу

$$\sum_{i=1}^{2} l_{eff.cp}, \qquad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{2} 84 = 168 \text{ MM.}$$

Тип механизму 1:

$$l_{eff.1} = \min\left(\sum_{i=1}^{2} l_{eff.nc}, \sum_{i=1}^{2} l_{eff.cp}\right),$$
 (15)

$$l_{eff.1} = 84$$
мм

Тип механизму 2:

$$l_{eff.2} = \sum_{i=1}^{2} l_{eff.nc} = 84 \text{ mm}$$

Несуча здатність за моментом пластичності для типу 1 визначається за формулою (4), для типу 2 - за формулою (5).

$$M_{pl.1.Rd} = rac{84 \cdot 10^2 \cdot 0.24}{4 \cdot 1.25} = 403,2 \ \mathrm{KH} \cdot \mathrm{Mm}.$$

 $M_{pl.2.Rd} = M_{pl.1.Rd} = 403,2 \ \mathrm{KH} \cdot \mathrm{Mm}.$

Несуча здатність 4 болтів із умови міцності на розтягування - граничне зусилля визначається відповідно до таблиці 6.2 [1].

Умови утворення шарнірів пластичності в полицях визначаємо за формулою (8):

$$F_{T.1.Rd} = \frac{(8 \cdot 22 - 2 \cdot 4.75) \cdot 403.2}{2 \cdot 40 \cdot 22 - 4.75 \cdot (40 + 22)} = 45.81 \text{ kH}.$$

Умови утворення шарнірів у полицях та деформація болтів визначаємо за формулою (9):

$$F_{T.2.Rd} = \frac{2 \cdot 403.2 + 22 \cdot \sum_{1}^{2} 63.12}{(40 + 22)} = 57.80 \text{ kH}.$$



Рис.4. Геометрична модель т-подібного компонента



Рис. 5. Скінченоелементна модель т-подібного компонента: а - загальний вид, б- поздовжній розріз.

Несуча здатність 4 болтів із умови міцності при розтягуванні - граничне зусилля, що сприймається тподібним компонентом при груповій роботі болтів, визначається за умови:

 $F_{T.comb.Rd} = \min(F_{T.1.Rd}; F_{T.2.Rd}; F_{T.3.Rd}),$ $F_{T.comb.Rd} = \min(45.81 \text{ kH}; 57.80 \text{ kH}; 126,24 \text{ kH}).$

Несуча здатність т-подібного компонента відповідно до норм EN – 1993-1-8 [1]:

> $F_{T.Rd} = \min(2 \cdot F_{T.single.Rd}; F_{T.comb.Rd}),$ $F_{T.Rd} = \min(2 \cdot 62.73 \text{ KH}; 45.81 \text{ KH}).$

Етап 2. Чисельне дослідження напруженодеформованого стану т-подібного компонента. З метою вивчення напружено-деформованого стану т-подібного компонента було створено його розрахункову модель з використанням комплексу скінченоелементного аналізу загального призначення [15,16]. При створенні моделі враховані властивості її симетрії щодо площини ХОҮ. Геометрична схема представлена на рис. 4, скінченоелементна модель – рис.5.

Прийняті для розрахунку діаграми деформування матеріалів представлені на рис. 6. Для полиці, стінки та болтів діаграми побудовані з використанням апроксимації Рамберга-Озгуда [17], а для зварних швів відповідно до діаграми Прандтля.



Рис. 6. Діаграми деформування матеріалу полиць, стінок та болтів: а – матеріал полиць та стінок, б – матеріал болтів

Навантаження на модель прикладалося покроково. На першому кроці навантаження задавався попередній натяг болтів (рис. 7), а на наступних зусилля, що розтягують, у вигляді зосередженої сили, прикладеної до верхньої грані т-подібного компонента. Граничне значення сили, що розтягує, прийнято 80 кН, повне значення навантаження прикладалося за 10 кроків.



Рис. 7. Розподіл еквівалентного напруження від *попереднього* натягу болта на першому кроці навантаження

Результати розрахунку. На рис. 8 показаний графік деформації моделі т-подібного компонента в залежності від величини зовнішнього зусилля, що прикладалося. Лінійна робота моделі спостерігалася до значення зовнішнього розтягуючого зусилля 50 кН, при цьому величина розкриття зазору між полицями становить 0.5 мм. Подальше збільшення навантаження в діапазоні 50-80 кН призводить до відхилення графіка від прямолінійної форми. Максимальна величина розкриття зазору між полицями моделі становила 2.3 мм.



Рис. 8. Максимальне розкриття зазору між полицями від прикладеного навантаження

Характер розподілу еквівалентних напружень на характерних етапах навантаження представлений на рис. 9.

Відповідно до вказівок норм EN – 1993-1-8 [1] вичерпання несучої здатності т-подібного компонента відбувається за змішаним механізмом (утворення шарнірів пластичності в поясах і зон плинності в болтах).





б



Рис. 9. Розподіл еквівалентних напружень (за Мізесом): а – при значенні зусилля F = 50 кH; б – при значенні зусилля F = 70 кH; в – при значенні зусилля F = 80 кH.

Висновки

Розроблена чисельна модель, яка включає в себе урахування фізичної та геометричної нелінійності, контактної взаємодії та попереднього натягу болтів. Аналітична модель у відповідності до [1] дозволила визначити несучу здатність компонентів вузлового з'єднання із урахуванням можливих сценаріїв переходу до граничного стану. Розроблена модель добре відповідає реальній поведінці вузлового з'єднання та отриманим результатам розрахунків. Планується провести експериментальну перевірку запропонованої моделі.

Література

1. Eurocode 3. EN 1993-1-8. Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints [Tekcm] / CEN, Brussels, 2005.

2. Faella C. Structural steel semirigid connections: theory, design and software [Tekcm] / Faella C., Piluso V., Rizzano G. // Boca Raton: CRC Press LLC – 2000, p. 494.

3. Boracchini A. Design and analysis of connections in steel structures [Texcm] / Alfredo Boracchini - Ernst&Sohn, 2018. https://doi.org/10.1002/9783433606056 4. Jean-Pierre Jaspart. Design of joints in steel and composite structures [Teκcm] / Jean-Pierre Jaspart, Klaus Weynand // Published by: ECCS – 2016, p. 402.

5. Perelmuter Anatolii. Designing bolted end-plate connections in compliance with Eurocode and Ukrainian codes: consistency and contradictions. [Teкcm] / Anatolii Perelmuter, Eduard Kriksunov, Igor Gavrilenko, Vitalina Yurchenko. // Modern building materials, structures and techniques – 2010. -The 10th International Conference, p. 733-743.

6. Zoetemeijer P. A design method for the tension side of statically loaded bolted beam-to-column connections [Teκcm] // Heron, Delft University - 1974, Vol. 20, №1.

7. Douty R. High strength moment connections [Teκcm] / Douty R., McGuire W. // J. Struct. Div. ASCE - 1965, №91, p.101–128. <u>https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0001230</u>

8. Солодовник Ю.Ю. Розрахунок несучої здатності вузлів сталевих конструкцій на основі компонентного методу. [Текст] / Солодовник Ю.Ю., Рюмін В.В., Нікічанов В.В. // Науково-технічний збірник "Комунальне господарство міст" – 2021р. - Т.1 випуск №161, Харків, - С. 19-24. - Режим доступу: <u>http://dx.doi.org/10.33042/2522-1809-2021-</u>1-161-19-24.

9. Солодовник Ю.Ю. Аналітична модель т-подібного компоненту розтягнутої зони фланцевого вузлового з'єднання балки з колоною. [Текст] // Науково-технічний збірник "Комунальне господарство міст" – 2023р. - Т.1 випуск №175, Харків, - С. 58-63. - Режим доступу: <u>https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-58-6</u>.

10.Cabaleiro, M. Analytical T-stub model for the analysis of clamps in structural metal joints. [Текст] / Cabaleiro M., Riveiro B., Conde B., Caamaño J.C. // J. Constr. Steel Res. -2017, №130, p. 138–147. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.12.011

11. Bursi O. S. Calibration of a Finite Element Model for Isolated Bolted End-Plate Steel Connections [Tekcm] / Bursi O. S., Jaspart J. P. // J. Construct. Steel Res. – 1997, Vol. 44, N_2 . 3, p. 225-262. <u>https://doi.org/10.1016/S0143-</u> 974X(97)00056-4

12. Bursi O. S. Benchmarks for Finite Element Modelling of Bolted Steel Connections [Tekcm] / Bursi O. S., Jaspart J. P. // J. Construct. Steel Res - 1997a, $N \ge 43(3)$, p. 17–42. <u>https://doi.org/10.1016/S0143-974X(97)00031-X</u>

13. Díaz C. FE model of beam to column extended end-plate joints[Teκcm] / Díaz C., Victoria M., Martí P., Querin O. M. // Journal of Constructional Steel Research - 2011, №67(10), p. 1578–1590. <u>https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.04.002</u>

14. Tartaglia R. Experimental and numerical study on the T-Stub behavior with preloaded bolts under large deformations [Texcm] / Tartaglia R., D'Aniello M., Zimbru M. // Structures - 2020, N° 27, p. 2137–2155. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.039

15. Xiaolin Chen. Finite element modeling and simulation with ANSYS workbench [Текст] / Xiaolin Chen, Yijun Liu // CRC Press Taylor &Francis group – 2019, p.473.

16. Huei-Huang Lee. Finite element simulations with ANSYS Workbench [*Teκcm*]// SDC Publications – 2021, p. 617.

17. Walter Ramberg. Description of stress strain curves by three parameters [Teκcm] / Walter Ramberg, William R. Osgood // Technical notes National advisory committee for aeronautics Washington – 1943, p. 29.

References

1. Eurocode 3 (2005). EN 1993-1-8. Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. *CEN*, *Brussels*.

2. Faella, C, Piluso, V., Rizzano, G. (2000). Structural steel semirigid connections: theory, design and software. *Boca Raton: CRC Press LLC*, 494.

3. Alfredo Boracchini (2018). Design and analysis of connections in steel structures. *Ernst&Sohn*. https://doi.org/10.1002/9783433606056

4. Jean-Pierre Jaspart, Klaus Weynand. (2016). Design of joints in steel and composite structures. *ECCS*, 402.

5. Perelmuter Anatolii, Kriksunov Eduard, Gavrilenko Igor, Vitalina Yurchenko. (2010). Designing bolted end-plate connections in compliance with Eurocode and Ukrainian codes: consistency and contradictions. *Modern building materials, structures and techniques. The 10th International Conference*, 733-743.

6. Zoetemeijer P. (1974). A design method for the tension side of statically loaded bolted beam-to-column connections. *Heron, Delft University, Vol. 20, 1.*

7. Douty, R., McGuire, W. (1965). High strength moment connections. J. Struct. Div. ASCE, 91, 101–128. https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0001230 8. Solodovnyk, Y., Riumin, V., Nikichanov, V. (2021). Evaluation of load-bearing capacity of the steel construction joints on the basis of component method. *Scientific and technical journal "Municipal economy of cities"*. Vol 1, 161, 19-24. <u>http://dx.doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-19-</u>24.

9. Solodovnyk, Y. (2023). Analytical model of the t- stub component in the end - plate bolted connection of the beam to the column in tension. *Scientific and technical journal* "Municipal economy of cities". Vol 1, 175, 58-63. <u>https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-58-6</u>.

10. Cabaleiro, M., Riveiro, B., Conde B., Caamaño, J.C. (2017). Analytical T-stub model for the analysis of clamps in structural metal joints. *J. Constr. Steel Res.*, *130*, 138–147. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.12.011

11. Bursi, O. S., Jaspart, J. P. (1997). Calibration of a Finite Element Model for Isolated Bolted End-Plate Steel Connections. J. Construct. Steel Res, Vol. 44, 3, 225-262. https://doi.org/10.1016/S0143-974X(97)00056-4

12. Bursi, O. S., Jaspart, J. P. (1997a). Benchmarks for Finite Element Modelling of Bolted Steel Connections. *J. Construct. Steel Res,* 43(3), 17–42. <u>https://doi.org/10.1016/S0143-974X(97)00031-X</u>

13. Díaz, C., Victoria, M., Martí, P., and Querin, O. M. (2011). FE model of beam to column extended end-plate joints. *Journal of Constructional Steel Research*, *67*(*10*), 1578–1590. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.04.002

14. Tartaglia, R., D'Aniello, M., Zimbru, M. (2020). Experimental and numerical study on the T-Stub behavior with preloaded bolts under large deformations. *Structures*, *27*, 2137–2155. <u>https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.039</u>

15. Xiaolin Chen, Yijun Liu. (2019). Finite element modeling and simulation with ANSYS workbench. *CRC Press Taylor &Francis group*, 473.

16. Huei-Huang Lee. (2021). Finite element simulations with ANSYS Workbench. *SDC Publications*, 617.

17. Walter Ramberg, William R. Osgood. (1943). Description of stress strain curves by three parameters. *Technical notes National advisory committee for aeronautics Washington*, 29.

Рецензент: д-р техн. наук, доц. А.О. Мозговий, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: СОЛОДОВНИК Юлія Юріївна

аспірантка кафедри будівельного проєктування Харківський національний університет міського

господарства імені О.М. Бекетова E-mail - yuliia.solodovnyk@kname.edu.ua

ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5243-9993

Автор: РЮМІН Володимир Володимирович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельного проєктування

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - volodymyr.riumin@kname.edu.ua

ID ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8884-589X

T-STUB COMPONENT BEHAVIOR OF THE BEAM TO COLUMN BOLTED FLANGE CONNECTION BASED ON A NUMERICAL ANALYSIS AND EN 1993-1-8 DESIGN CODES

Y. Solodovnyk, V. Riumin

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Nodal joints uniting separate elements of steel structures are the most important parts of the whole structure. For the tensile zone of a connection, the study of its stress-strain state up to the limit of exhaustion of its bearing capacity is of greatest interest. There exist different design approaches to obtain the ultimate capacity of a tension-zone of a steel joint, both numerical and analytical methods. In the presented paper this has been realized using a general-purpose finite element analysis package. The application of numerical methods for modelling the tensile performance of the Tcomponent makes it possible to compensate for the lack of data on full-scale experimental studies.

Despite the widespread use of finite element analysis packages, there are still no clear guidelines for creating numerical models of such connections.

Numerical analysis has taken into account important effects such as the nonlinear behavior of the material and the contact interaction of its individual elements.

Finite element analyses should represent the reality in an accurate way while not being too time consuming to be set up and run. That means appropriate parameters and phenomena, such as element types or loading procedure, should be compiled in a way suitable to the problem at hand, so that the discrepancy between reality and model is sufficiently small.

A FE-model with wrong representation of reality can be solved correctly with FEA, but will thereby provide inaccurate results. Therefore, one needs understanding about FE parameters and their influence on time to execute the procedure effectively. When these conditions are met, the possibility to analyze larger number of T-stubs with less user modification opens up.

The analytical method for the calculation of the properties of a bolted joint established by the structural Eurocodes proposes the T-stub as a component for the characterization of the tension and compression zones in moment joints. Using the component method, which is the basis for the calculation of joints according to the EN 1993-1-8 design codes, the value of the ultimate tensile force for the T-shaped component of the dimensions adopted in the work was obtained; the obtained values of the ultimate forces were further used in the numerical experiment.

Keywords: end-plate connection, numerical model, T-stub component, bolt connection.