



УДК 004.2

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF FLANGE CONNECTION CALCULATION USING THE FEM AND CFEM METHODS

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ МЕТОДОМ MCE ТА KMCE

Maksymiuk Y.V. / Максим'юк Ю.В.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-5814-6227

Mytsiuk S.V. / Мицюк С.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-6481-4036

Mytsiuk D.V. / Мицюк Д.В.*PhD student / аспірант.*

ORCID: 0000-0002-3583-8052

*Kyiv National University of Construction and Architecture,**Kyiv, Povitrianykh Syl Avenue, 31, 03037**Київський національний університет будівництва і архітектури,**Київ, проспект Повітряних Сил, 31, Київ, 03037*

Анотація. В роботі проведено розрахунок фланцевого вузла болтового з'єднання круглих труб з використанням програмних комплексів ПК Ліра Сепр та IDEA StatiCa та порівняльний аналіз результатів при моделюванні виконаного на основі методу скінченних елементів (MCE) в просторовій постановці та компонентного методу скінченних елементів (KMCE).

Ключові слова: метод скінченних елементів, компонентний метод скінченних елементів, IDEA StatiCa, фланцеве болтове з'єднання, дія згинального моменту, порівняльні розрахунки Ліра Сепр та IDEA StatiCa

Вступ.

Досить розповсюдженим у використанні є конструкції з круглих труб, таких як будівлі, мости, вітрогенератори, радіовежі, телевізійні вежі, морські споруди тощо. Для таких елементів досить поширене використання фланцевих болтових з'єднань, болти розташовуються рівномірно по периметру труби, такий тип з'єднань не послаблює поперечний переріз труби. Фланцеві пластини можуть бути суцільними і перекривати трубу або являти собою кільце (рис.1). Даний тип з'єднань може піддаватись осьовому натягу, осьовому стиску, вигину або комбінації цих навантажень [2]. У сучасній інженерній практиці зростає потреба в точному аналізі напружено-деформованого стану (НДС) вузлів [1, 7], особливо тих, що піддаються згинальним моментам і мають кільцевий тип фланця. Для аналізу НДС у цьому дослідженні використовуються сучасні розрахункові



комплекси, що ґрунтуються на методі скінченних елементів (МСЕ): ЛІРА-САПР [6] та Idea StatiCa Connection [5]. Програмний комплекс Idea StatiCa застосовує компонентний метод скінченних елементів (КМСЕ), який має широкі можливості для розрахунку вузлів, але водночас має обмеження щодо детального аналізу НДС окремих елементів. Більш детально з підходами даного методу можна ознайомитись в роботі [9].

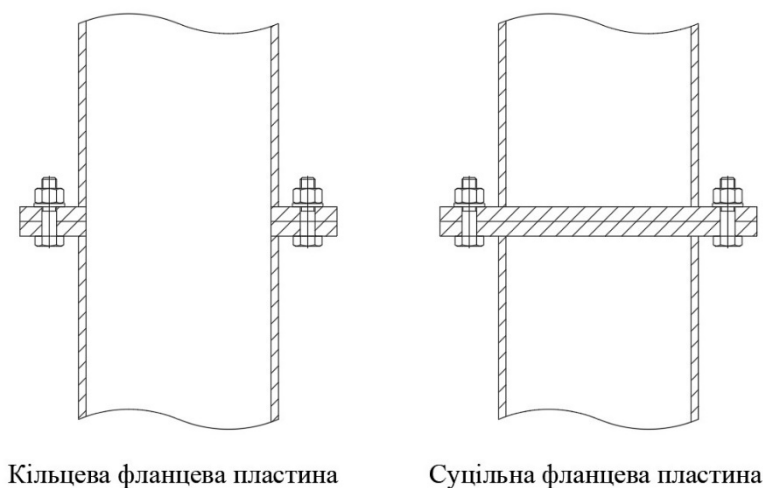


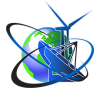
Рисунок 1 - Типи фланцевих пластин

Метою даного дослідження є розрахунок фланцевого вузла круглих труб на дію згинального моменту та дослідження максимальних напружень та зусиль в болтах [3, 4] за допомогою програмних комплексів ПК Ліра Сапр і Idea StatiCa Connection та порівняння отриманих результатів.

Основний текст.

Розглядається фланцеве болтове з'єднання двох труб діаметром $D_{тр}=762$ мм з товщиною стінки $t_{тр}=6$ мм, товщина фланців прийнята $t_f=40$ мм (фланець прийнято кільцевого типу), зовнішній радіус фланців прийнято $R_f=459$ мм, внутрішній по внутрішній грані труби, радіус розміщення болтів прийнято $R_b=423$ мм, болти прийняті М24 класу міцності 10.9, кількість болтів - 24 шт рівномірно розміщених по радіусу.

Загальний вигляд з'єднання представлено на рис.2. До з'єднання прикладено зосереджений згинальний момент $M=750$ кНм, що діє по центральним осям однієї труби, інша труба жорстко закріплена. Матеріал труби



та фланців – сталь S355, модуль пружності $E=2.06 \times 10^5$ МПа та коефіцієнт Пуассона $\nu=0,3$.

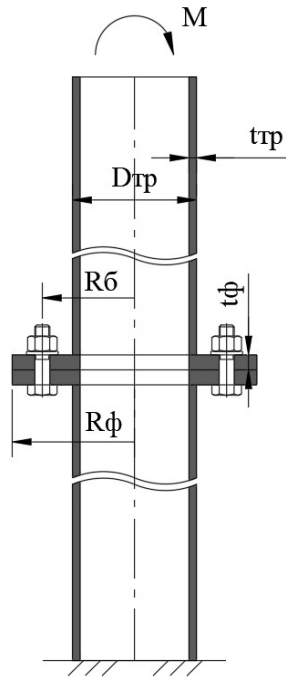


Рисунок 2 - Загальний вигляд з'єднання

Розрахунок з'єднання на основі МСЕ (методу скінченних елементів) було виконано в Ліра САПР у просторовій постановці з використанням універсальних чотирикутних СЕ оболонки. Розрахункова схема наведена на рис.3.

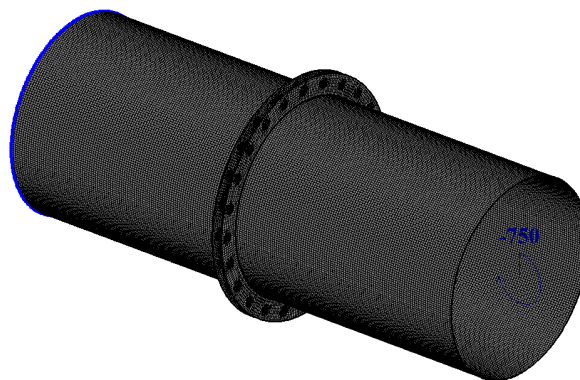


Рисунок 3 - Розрахункова схема МСЕ

Авторська розробка

Для порівняння розрахунків на основі КМСЕ проводився в Idea StatiCa. Розрахункова схема наведена на рис. 4.

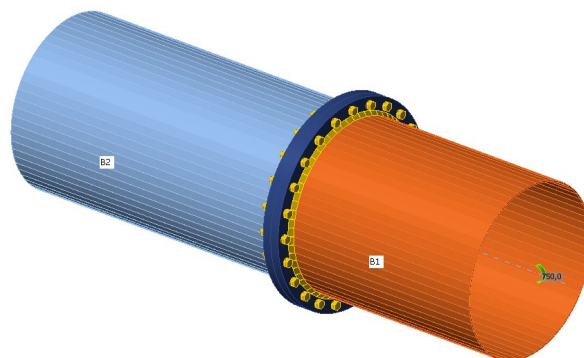


Рисунок 4 - Розрахункова схема КМСЕ

Авторська розробка

Отримані результати розрахунку на основі МСЕ та на основі КМСЕ демонструють високу збіжність результатів. Значення максимального зусилля розтягу в найбільш напруженому болті на основі МСЕ складає 217 кН та 239,6кН на основі КМСЕ (рис. 5 – рис. 8). Результати зусиль для кожного із болтів наведено в таблиці 1.

Разом з тим варто відзначити на відмінності в розподілі зусиль в болтах див. рис.6 та рис.8, за результатами МСЕ характер розподілу зусиль більш рівномірний при цьому зусилля розтягу виникають нижче осьової лінії труби, що може вказувати на різний характер передачі зусиль розтягу та стиску.

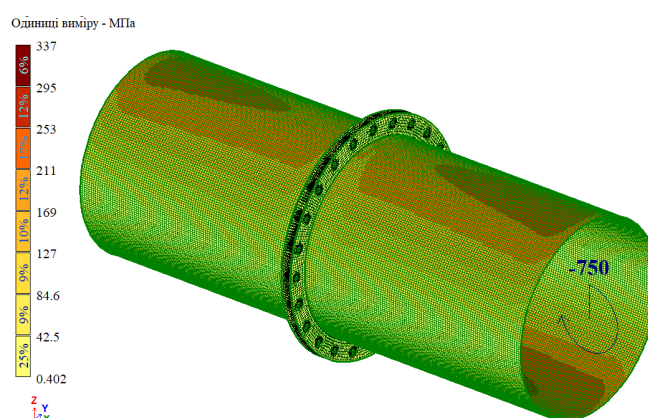


Рисунок 5 - Еквівалентні напруження МСЕ

Авторська розробка



Одиниці виміру - кН

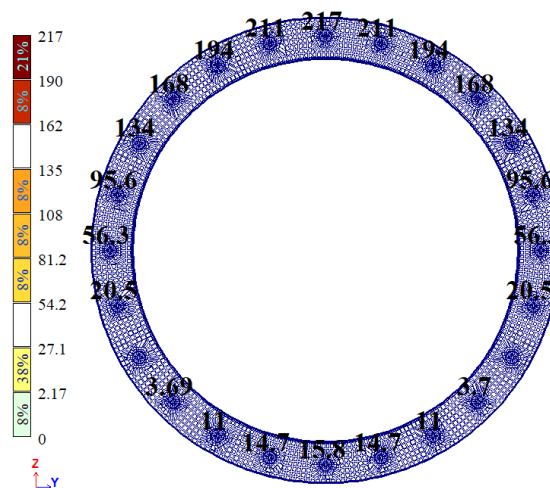


Рисунок 6 - Зусилля в болтах МСЕ

Авторська розробка

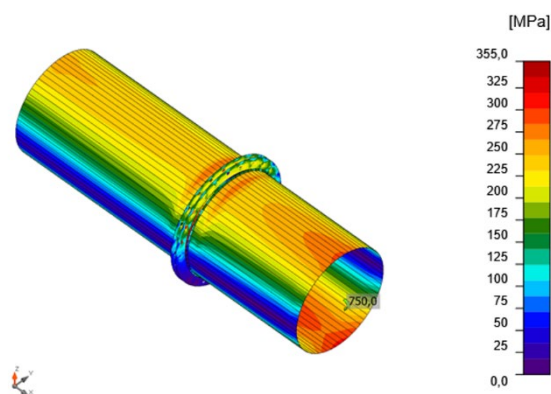


Рисунок 7 - Еквівалентні напруження КМСЕ

Авторська розробка

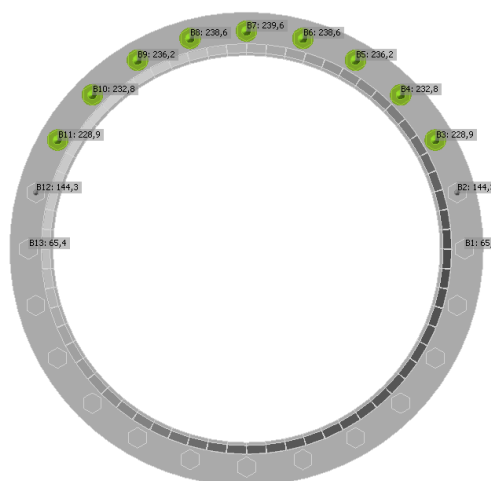
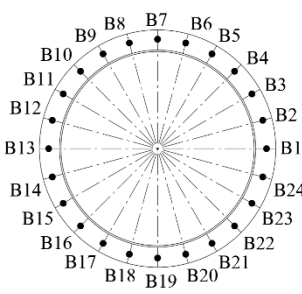


Рисунок 8 - Зусилля в болтах КМСЕ

Авторська розробка



Таблиця 1 – Зусилля в болтах

Схема болтів	Болт	Зусилля в болті (Ліра САПР)	Зусилля в болті (IDEA StatiCa)
	B1	56,3	65,4
	B2	95,6	144,3
	B3	134,0	228,9
	B4	168,0	232,8
	B5	194,0	236,2
	B6	211,0	238,6
	B7	217	239,6
	B8	211,0	238,6
	B9	194,0	236,2
	B10	168,0	232,8
	B11	134,0	228,9
	B12	95,6	144,3
	B13	56,3	65,4
	B14	20,5	9,5
	B15	0	1,8
	B16	3,69	11,1
	B17	11,0	11,7
	B18	14,7	13,4
	B19	15,8	17,3
	B20	14,7	13,3
	B21	11,0	11,8
	B22	3,7	11,1
	B23	0	1,8
	B24	20,5	9,5

Авторська розробка

Максимальні значення еквівалентних напружень для розрахунку на основі МСЕ становлять 337 МПа для розрахунку КМСЕ – 355 МПа. Характер розподіл напружень в обох випадках досить схожий.

Зведені загальні результати розрахунку наведено в таблиці 2.

**Таблиця 2 – Зведені загальні результати розрахунку**

Максимальні значення еквівалентних напружень, МПа		Збіжність результатів, %	Максимальні значення зусиль розтягу в болтах, кН		Збіжність результатів, %
МСЕ	КМСЕ		МСЕ	КМСЕ	
337	355	5,2	217	239,6	9,9

Авторська розробка

Висновки.

Підсумовуючи результати розрахунку можна виділити декілька моментів, а саме: отримані результати розрахунку та аналізу вказують на можливість отримати досить велику збіжність результатів розрахунку виконаного на основі МСЕ та компонентного методу СЕ, даний тип з'єднання досить гарно себе показує при сприйнятті згинального моменту, результати розрахунку на основі МСЕ та КМСЕ можуть слугувати для подальшого детального аналізу НДС та додаткового дослідження найбільш напружених елементів вузла, таких як болти та зварні шви з врахуванням початкових та набутих дефектів з'єднання, що є досить актуальним при оцінці несучої здатності як окремих елементів конструкції так і конструкції загалом.

Література:

1. Вабищевич М.О., Сторчак Д.А.. Розв'язання нелінійних контактних задач деформування вузлових з'єднань сталевих конструкцій. // Опір матеріалів і теорія споруд. –К.:КНУБА, Вип.108, 2022, С. 178-179.
2. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С.. Опір матеріалів. Підручник.-2-ге вид., допов. І переробл. – К.:Вища шк., 2004. -655 с.
3. Пискунов С.О., Мицюк С.В., Мицюк Д.В., Реп'ях Ю.М. Аналіз напруженого стану болтового з'єднання з урахуванням натягу болта// Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2024. – Вип. 113. – С. 44-49.



4. Пискунов С.О., Мицюк С.В., Мицюк Д.В., Реп'ях Ю.М. Аналіз напруженого стану болтового з'єднання з урахуванням натягу болта// Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2025. – Вип. 114. – С. 3-10.

5. Пискунов С.О., Мицюк С.В., Андрієвський В.П., Мицюк Д.В. Порівняльний аналіз результатів розрахунку рамного вузла у програмному засобі IDEA STATICA CONNECTION та за методиками нормативних документів // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 109. – С. 31-39.

6. Програмний комплекс ЛІРА-САПР. Приклади розрахунку і проектування. К.; https://www.liraland.ua/download/private/lira/2023/lira_sapr_examples_ua.pdf

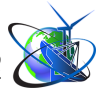
7. Bazhenov, V. A., Pyskunov, S.O., Maksym'yuk Yu. V., Mytsyuk S. V. Effect of geometric nonlinearity on the life of a herringbone lock joint in creep // *Opir materialiv*, 2022, Vol. 54, No. 3, pp.372-376.

8. Bolt Pretension Object. Modeling the Bolt and Preload. Ansys//https://innovationspace.ansys.com/courses/wp-content/uploads/sites/5/2020/10/2.2.3_Bolt-Pretension-object_new_brand.pdf

9. Wald F. Component based Finite Element Design of Seismically Qualified Joints / M Vild2, M Kuříková1, M Kožich1 and J Kabeláč2 F Wald1, M Vild2, M Kuříková1, M Kožich and J Kabeláč//Published under licence by IOP Publishing Ltd *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1425, Modelling and Methods of Structural Analysis 13–15 November 2019, Moscow, Citation F Wald et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1425 012002

Abstract. *This paper presents a comparative numerical analysis of the stress-strain state (SSS) of a flanged bolted connection for two circular pipes. The relevance of this study is driven by the need for more accurate calculations of structural joints, especially those subjected to significant bending loads.*

The research is based on the use of two modern computational approaches: the traditional Finite Element Method (FEM), implemented in LIRA-SAPR, and the Component-based Finite Element Method (CBFEM), which forms the basis of IDEA StatiCa. The developed models take into account the specifics of each method, which allowed for a detailed analysis of the distribution of internal forces and stress fields within the joint.



The analysis of the results showed that the maximum values of stresses and bolt forces are in good agreement across both computational models. At the same time, it was found that the distribution of forces among the bolts slightly differs, which indicates different principles for modeling load transfer in each software.

The findings from this work may be useful for future studies of flanged connections, particularly as a basis for conducting a comparative analysis with other computational approaches

Key words: *Finite element method, component-based finite element method, IDEA StatiCa, flange bolted connection, action of bending moment, comparative calculations of Lira Sapr and IDEA StatiCa.*

Статтю надіслано: 20.08.2025 р.

© Мицюк С.В.