

УДК 539.375

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ РАМНОГО ВУЗЛА У ПРОГРАМНОМУ ЗАСОБІ IDEA STATICA CONNECTION ТА ЗА НОРМАТИВНИМИ ДОКУМЕНТАМИ

**С.О. Пискунов<sup>1</sup>**,  
д-р техн. наук, професор

**С.В. Мицюк<sup>2</sup>**,  
канд. техн. наук, доцент

**В.П. Андрієвський<sup>2</sup>**,  
канд. техн. наук, доцент

**Д.В. Мицюк<sup>3</sup>**,  
керівник групи інженерів-конструкторів

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

<sup>2</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ, Україна, 03680

<sup>3</sup> ТОВ "БЮРО ПРОЕКТІВ", вул. Михайлівська, 18В, м. Київ, Україна, 01001

DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.120-128

В статті проведено розрахунок рамного вузла з використанням програмного комплексу IDEA StatiCa та порівняльний аналіз цих результатів із отриманими на основі вимог нормативних документів ДБН та EN.

**Ключові слова:** компонентний метод скінчених елементів, IDEA StatiCa, рамний вузол, порівняльні розрахунки ДБН та EN.

**Вступ.** Розвиток сучасного будівництва підвищує вимоги до достовірності і точності визначення напружено-деформованого стану вузлів і деталей проєктованих об'єктів. Дуже часто в будівництві використовуються конструкції різних форм і розмірів: двотаври, фібробетонні оболонки, клеєний брус і т.д. У кожного із них є свої недоліки та переваги як з точки зору архітектурної виразності, так і з точки зору їх розрахунку. При проведенні розрахунку будівлі в цілому, всі стики та з'єднання як правило задаються спрощено. В той же час при розрахунку вузлів примикання частин конструкцій одна до одної повинно приділятися особлива увага, оскільки в залежності від роботи вузла можливе різне розподілення напружено-деформованого стану (НДС). Це є найбільш актуальним при проєктуванні вузлів металевих конструкцій. Дані розрахунки займають найбільше часу безпосередньо при конструюванні вузлів. Якщо вузли однотипні, то на допомогу приходять типові серійні схеми, різноманітні посібники та методичні вказівки [1, 2 та ін.], але у випадку нестандартних вузлів складної форми, процес розрахунку значно ускладнюється і може призвести до значних витрат часу та помилок. Таким чином на сьогодні важко уявити розрахунок

будь-якої конструкції без використання сучасних програмно-обчислювальних комплексів. Розрахункова схема вузла повинна відображати його реальну поведінку в складі конструкції. Моделі матеріалів і окремих компонентів (болтів, зварних швів) також повинні відповідати цьому. Автоматизація такого процесу неможлива без використання єдиних верифікованих моделей для окремих компонентів вузла (болтів, зварних швів, анкерів), достовірність яких підтверджувалася б експериментальними даними. Такий підхід частково відображений в зарубіжній нормативній літературі і називається компонентним методом.

Метою даного дослідження є розрахунок рамного вузла і порівняльний аналіз результатів, отриманих із застосуванням програмного засобу Idea StatiCa Connection, з результатами розрахунків по різним нормативним документам.

Розрахунок в Idea StatiCa виконується за допомогою компонентного методу скінченних елементів. Суть даного методу полягає в тому, що вузол розглядається як сукупність зв'язаних один з одним елементів-компонентів (рис. 1).

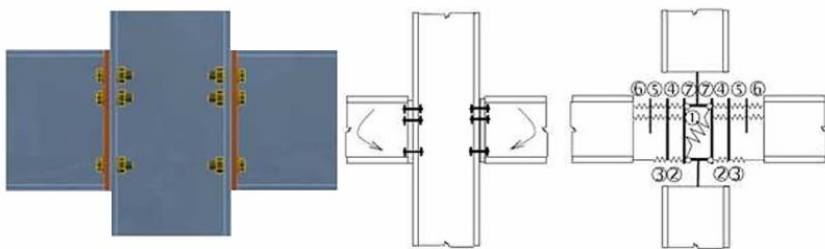


Рис. 1. Рамний вузол і його компонента модель

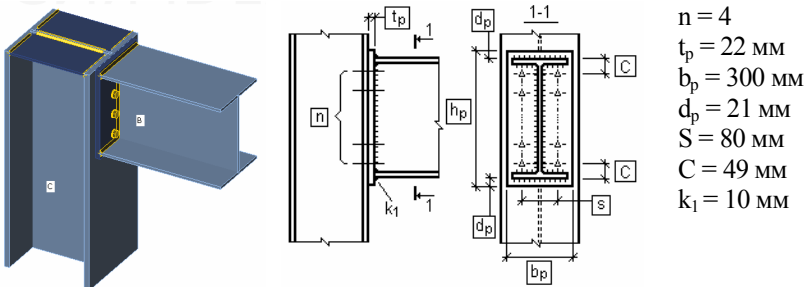
1 - Стінка колони, зсув; 2-стінка колони, стиск; 3-полка балки, стінка балки, стиск;  
4 – полка балки, згин; 5-болти, розтяг; 6 – фланець, згин

Кожен компонент перевіряється окремо від інших за відповідними формулами. Кожен із вузлів потрібно створювати заново, проте якщо доповнити процес розрахунку його МСЕ, то це дозволить проводити розрахунки вузлів практично будь-якої конфігурації. Цей підхід був вперше реалізований в Чехії завдяки спільній роботі інститутів Цивільного будівництва в Празі і Технологічного університету в Брно при допомозі компанії IDEA RS. Даний метод отримав назву CBFE (Component Based Finite Element Method), що можна перевести як КМСЕ - компонентний метод скінченних елементів [3], і був реалізований в програмі Idea StatiCa, призначеної саме для розрахунку і перевірки за нормами вузлів сталевих конструкцій. Моделювання болтів та зварних швів в цій програмі описано в [4].

**1. Постановка задачі.** Розглядуваний об'єкт являє собою вузол сполучення ригеля з колоною і включає сіну рами з перерізом колони (рис. 2) - двутавр 40К3, балка – двутавр 40Ш1, і ребрами жорсткості, товщиною

10 мм. Навантаження - поперечна сила  $Q = -60$  кН і згинальний момент  $M = 150$  кНм. Болти високоміцні М20 зі сталі 40Х "селект". Товщина фланцевої пластини – 22 мм.

**2. Результати розрахунку і їх аналіз.** Розрахунок даного вузла в програмі IDEA StatiCa виконаний на основі нормативних документів СП 16.13330.2017 [6] та EN 1993-1-8: Eurocode 3 [7]: Design of steel structures (рис. 3). Отримані результати розрахунку зведені в таблиці 1.



$n = 4$   
 $t_p = 22$  мм  
 $b_p = 300$  мм  
 $d_p = 21$  мм  
 $S = 80$  мм  
 $C = 49$  мм  
 $k_1 = 10$  мм

Рис. 2

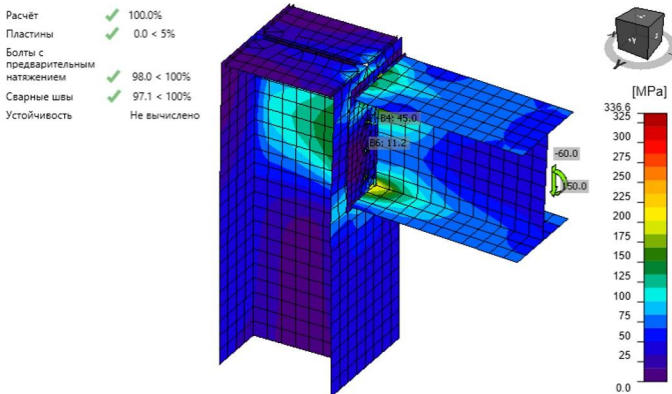


Рис. 3

Розрахунок значень зусиль у високоміцних болтах виконано згідно з розділом 16.3.3 ДБН В.2.6-198-2014 [5] високоміцних болти М20 класу міцності 10.9 і класу точності А мають такі характеристики:  $R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun} = 0,70 \cdot 1000 = 840$  МПа,  $A_{bn} = 245$  мм<sup>2</sup> Тоді за формулами пункту 16.3.3. ДБН В.2.6-198-2014 отримаємо

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} A_{bn} \mu_s}{\gamma_h} = \frac{700 \times 245 \times 0.35}{1.17 \times 10^{-3}} = 51.3 \text{ кН},$$

що дещо відрізняється від значення, обчисленому в IDEA StatiCa (із використанням норм СП 16.13330.2017 [6], рис. 5).

Таблиця 1

Перевірка	Коефіцієнт використання, методика нормативних документами		Коефіцієнт використання, IDEA StatiCa	
	СП 16.13330.2011	ДБН В.2.6-198:2014	СП 16.13330.2011	EN 1993-1-8: Eurocode 3:
Міцність фланця при згині з урахуванням ослаблення отворами (ригель)	0.458	0.431	0.458	0.431
Міцність зварного з'єднання ригеля з фланцем (ригель)	0.42	0.42	0.68	0.58
Міцність болтового з'єднання фланця з полицею колони (ригель)	0.733	0.718	0.98	0.98

Расчёт   Пластины   **Преднапряжённые болты**   Сварные швы

**Проверка преднапряжённых болтов для наилучшего нагружения**

	Статус	Элемент	Нагрузки	Nt [kN]	Ns [kN]	Nbf [kN]	Uts [%]	Конструирование
> +	✓	B1	LE1	163,1	0,0	4,1	0,0	✓
+	✓	B2	LE1	163,2	0,0	4,1	0,0	✓
+	✓	B3	LE1	61,4	8,0	31,5	25,3	✓
+	✓	B4	LE1	62,8	7,8	31,1	25,1	✓
+	✓	B5	LE1	15,0	18,0	44,0	40,9	✓
+	✓	B6	LE1	15,0	18,1	44,0	41,2	✓
-	✓	B7	LE1	0,0	47,1	48,0	98,0	✓

**Проверка на проскальзывание (SP16 - Cl.12.3)**

$$N_{bf} = Q_{bh} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 48,0 \text{ kN} \geq N_s = 47,1 \text{ kN}$$

Где:

$Q_{bh} = 53,4 \text{ kN}$  – расчётное усилие, которое может быть воспринято каждой пл

- $Q_{bh} = \frac{R_{bh} \cdot A_{bh} \cdot \mu}{\gamma_s}$ , где:
  - $R_{bh} = 0,7 \cdot R_{b,lim} = 728,0 \text{ MPa}$  – расчётное сопротивление раст
  - $R_{b,lim} = 1040,0 \text{ MPa}$  – нормативное временное сопротивление ст

+ ✓	B8	LE1	0,0	47,1	48,0	98,1	✓
-----	----	-----	-----	------	------	------	---

**Расчётные данные**

Класс	R <sub>b</sub> [kN]	μ
> M20 10.9 A - 1	178,4	0,35

Значення допустимих зусиль в болтах в порівнянні із ручним розрахунком по ДБН В.2.6-198-2014 [5] та із розрахунком в програмному комплексі IDEA StatiCa (із використанням норм СП 16.13330.2017 [6]) складають 51,3 кН та 53,4 кН відповідно. Різниця в відсотках складає 3,9%.

Розрахунок значень зусиль в високоміцних болтах виконано згідно з розділом 14.3.3 СП 16.13330.2017 [6] високоміцні болти М20 класу міцності 10.9 і класу точності А мають такі характеристики:  $R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun} = 0,70 \cdot 1040 = 728$  МПа,  $A_{bn} = 245$  мм<sup>2</sup>. Тоді за формулами п. 16.3.3. ДБН В.2.6-198-2014 [5] отримаємо

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} A_{bh} \mu_s}{\gamma_h} = \frac{728 \times 245 \times 0,35}{1,17 \times 10^{-3}} = 53,36 \text{ кН},$$

що повністю відповідає значенню, обчисленому в IDEA StatiCa (із використанням норм EN [7], рис. 6).

Расчёт		Пластины		Болты с предварительным натяжением		Сварные швы				
<b>Проверка преднапряжённых болтов для наихудшего нагружения</b>										
	Статус	Элемент	Класс	Нагрузки	Ft [кН]	V [кН]	Bp,Rd [кН]	Fs,Rd [кН]	Utt [%]	Uts [%]
>	+	✓	B1	M20 10.9 - 1 LE1	161,6	11,6	544,8	12,6	91,6	91,7
	+	✓	B2	M20 10.9 - 1 LE1	161,6	11,6	544,8	12,6	91,6	91,7
	+	✓	B3	M20 10.9 - 1 LE1	63,3	5,7	544,8	36,2	35,9	15,6
	+	✓	B4	M20 10.9 - 1 LE1	63,4	5,7	544,8	36,1	36,0	15,8
	+	✓	B5	M20 10.9 - 1 LE1	15,0	19,7	544,8	47,7	8,5	41,2
	+	✓	B6	M20 10.9 - 1 LE1	15,0	19,6	544,8	47,7	8,5	41,0
	-	✓	B7	M20 10.9 - 1 LE1	0,0	47,1	544,8	51,3	0,0	91,8
<p><b>Проверка на срез (EN 1993-1-8 3.9.1)</b></p> $F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M2}} F_{p,C} = 51,3 \text{ кН} \geq V = 47,1 \text{ кН}$ <p>где:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_s = 1,00</math> — Приведены в таблице 3.6</li> <li><math>n = 1</math> — Кол-во поверхностей трения</li> <li><math>\mu = 0,35</math> — Коэффициент трения</li> </ul>										
	+	✓	B8	M20 10.9 - 1 LE1	0,0	47,1	544,8	51,3	0,0	91,8

#### Расчётные данные

	Класс	Ft,Rd [кН]	$\mu$
>	M20 10.9 - 1	176,4	0,35

Рис. 6

Таким чином значення допустимих зусиль в болтах в порівнянні із ручним розрахунком по СП 16.13330.2017 [6] та із розрахунком в програмному

комплексі IDEA StatiCa (із використанням норм СП 16.13330.2017) складають 53,36 кН та 53,4 кН відповідно - результати практично співпадають між собою.

Значення допустимих зусиль в болтах в порівнянні із ручним розрахунком по ДБН В.2.6-198-2014 [5] та із розрахунком в програмному комплексі IDEA StatiCa (із використанням норм EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures [7]) є однаковими і складають 51,3 кН, що свідчить про повне співпадіння.

Окрім зрізуючих і розтягуючих зусиль в результатах розрахунку наводяться коефіцієнти використання окремих компонентів відповідно до обраних нормами - болтів, зварних швів і т.д. Створення, розрахунок вузла і виведення результатів займає всього декілька хвилин. Перевірка зварних швів виконується в двох перетинах - металу шва і металу межі сплаву.

**Висновок.** Отримані результати розрахунку свідчать, що використання компонентного методу скінчених елементів в програмному комплексі IDEA StatiCa дозволяє отримати досить точні результати, та розраховувати нестандартні вузли складної форми при значній економії часу на їх розрахунок.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Металеві конструкції: Підручник / Під загальною редакцією. В.О. Пермякова та О.В. Шимановського. – К.: Видавництво «Сталь», 2008. – 812 с.
2. *Клименко Ф.С.*, Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції. – Львів: Видавництво «Світ», 2002. – 312 с.
3. *Насырова И.Ю.* Компонентный метод конечных элементов в BIM проектировании на примере программы Idea StatiCa / И.Ю. Насырова, Р.В. Бароев, Г.М. Бажин//Молодёжные инновации; Электронный ресурс: сборник материалов семинара молодых учёных XXII Международной научной конференции «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» (г. Ташкент, 18–21 апреля 2019 г.) - С.464.
4. *Wald F.* Component based Finite Element Design of Seismically Qualified Joints / M Vild2, M Kuřiková1, M Kožich1 and J Kabeláč2 F Wald1, M Vild2, M Kuřiková1, 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, Russian Federation Citation F Wald et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1425 012002.
5. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування.
6. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Изменением N 1).
7. EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures.

#### REFERENCES

1. *Metalevi konstruktsii: Pidruchnyk (Metal constructions: Textbook) / Under general editorship. V.O. Permyakova and O.V. Szymanovskoho. - K.: Vidavnitstvo "Stal", 2008. - 812 p.*
2. *Klymenko F.E., Barabash V.M., Storozhenko L.I. Metalevi konstruktsii (Metal structures). - Lviv: Publishing House "Svit", 2002. - 312 p*
3. *Nasyrova I.Yu. Komponentnyi metod konechnykh elementov v BIM proektyrovanii na prymerе prohrammy Idea StatiCa (Component finite element method in bim design on the example of the program Idea StatiCa) / I.Yu. Nasyrova, R.V. Baroev, G.M. Bazhin // Youth innovations; Electronic resource: collection of materials of the seminar of young scientists of the XXII International scientific conference "Construction - the formation of the living environment" (Tashkent, April 18-21, 2019) - P.464.*

4. Wald F. Component based Finite Element Design of Seismically Qualified Joints / M Vild2, M Kuřiková1, M Kořich1 and J Kabeláč2 F Wald1, M Vild2, M Kuřiková1, M Kořich 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, Russian Federation Citation F Wald et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1425 012002
5. DBN V.2.6-198: 2014 Steel structures. Design standards.
6. SP 16.13330.2011 Stalnye konstruksii. Aktualyzyrovannaia redaktsiia SNIiP II-23-81\* (s Yzmenenyem N 1). (Steel structures. Updated edition of SNIiP II-23-81\* (with Amendment No. 1)).
7. EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures.

*Стаття надійшла 05.08.2022*

*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**

Розвиток сучасного будівництва підвищує вимоги до достовірності і точності визначення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій, вузлів і деталей проєктованих об'єктів. При цьому сьогодні важко уявити розрахунок будь-якої конструкції без використання сучасних програмно-обчислювальних комплексів. Проводячи розрахунок будівлі в цілому, всі стики, примикання та з'єднання, як правило, задаються спрощено. В той же час, розрахунок вузлів примикань конструкцій одна до одної потрібно приділяти особливу увагу, оскільки, в залежності від умов роботи вузла, можливе різне розподілення НДС, що в свою чергу впливає на геометричні характеристики та роботу конструкцій. Таким чином, розрахункова схема вузла має відобразити його реальну поведінку в складі конструкції, що в свою чергу, може призвести до ускладнення створення моделі, значних витрат часу та помилок в розрахунках. Моделі матеріалів і окремих компонентів (болтів, зварних швів) також повинні максимально відповідати реальним. Цей процес є найбільш актуальним при проєктуванні вузлів металевих конструкцій. Проєктування типових вузлів виконується із використанням серійних рішень, типових методик і посібників, але у випадку нестандартних вузлів складної форми доцільним є використання відображеного в зарубіжній літературі компонентного методу скінченних елементів. Цей підхід реалізовано в програмному комплексі Idea StatiCa. Модель, що виконана в даній програмі, дає сучасному інженеру достатню кількість інформації про поведінку вузла, його напружено-деформований стан і коефіцієнти використання окремих компонентів, а також про результати спільних перевірок. Отримані результати при розрахунку рамного вузла з використанням цього комплексу було порівняно розрахунками, виконаними вручну по методикам різних нормативних документів.

**Ключові слова:** компонентний метод скінченних елементів, IDEA StatiCa, рамний вузол, порівняльні розрахунки ДБН та EN.

*Pyskunov S.O., Mitsyuk S.V., Andriievskiy V.P., Mitsyuk D.V.*

#### **COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF FRAME NODE CALCULATION IN IDEA STATICA CONNECTION SOFTWARE AND BY METHODS OF REGULATORY DOCUMENTS**

The development of modern construction increases the requirements for the reliability and accuracy of determining the stress-strain state of structures, nodes and details of designed objects. At the same time, today it is difficult to imagine the calculation of any structure without the use of modern software. When calculating the building as a whole, all joints, abutments and connections, as a rule, are specified in a simplified manner. At the same time, the special attention should be paid to the calculation of nodes connecting structures to each other, since, depending on the operating conditions of the node, a different distribution of the stress-strain state is possible, which in turn affects the geometric characteristics and operation of the structures. Thus, the calculation scheme of the node should reflect its real behavior as part of the structure, which, in turn, can lead to the complication of model creation, significant time costs and errors in calculations. Models of materials and individual components (bolts, welds) should also match the real ones as much as possible. This process is most relevant in the design of nodes of metal structures. The design of typical nodes is carried out using serial solutions, standard methods and manuals, but in the case of non-standard nodes of a complex shape, it is advisable to use the component method of finite

elements reflected in foreign literature. This approach is implemented in the Idea StatiCa software complex. The model made in this program gives the modern engineer a sufficient amount of information about the behavior of the unit, its stress-strain state and the coefficients of use of individual components, as well as about the results of joint inspections. The results obtained during the calculation of the frame unit using this complex were compared with the calculations performed manually according to the methods of various regulatory documents.

**Key words:** component finite element method, IDEA StatiCa, frame assembly, comparative calculations of DBN and EN.

*Пискунов С.О., Мицюк С.В., Андрієвський В.П., Мицюк Д.В.*

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА РАМНОГО УЗЛА В ПРОГРАММНОМ СРЕДСТВЕ IDEA STATICA CONNECTION И ПО МЕТОДИКАМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

Развитие современного строительства повышает требования к достоверности и точности определения напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций, узлов и деталей проектируемых объектов. При этом сегодня сложно представить расчет любой конструкции без использования современных программно-вычислительных комплексов. Проводя расчет здания в целом, все стыки, примыкания и соединения, как правило, задаются упрощенно. Вместе с тем, расчету узлов примыканий конструкций друг к другу нужно уделять особое внимание, поскольку, в зависимости от условий работы узла, возможно разное распределение НДС, что в свою очередь влияет на геометрические характеристики и работу конструкций. Таким образом, расчетная схема узла должна отражать его реальное поведение в составе конструкции, что в свою очередь может привести к усложнению создания модели, значительным затратам времени и ошибкам в расчетах. Модели материалов и отдельных компонентов (болтов, сварных швов) также должны максимально соответствовать реальным. Этот процесс наиболее актуален при проектировании узлов металлических конструкций. Проектирование типовых узлов выполняется с использованием серийных решений, типовых методик и пособий, но в случае нестандартных узлов сложной формы целесообразно использование отраженного в зарубежной литературе компонентного метода конечных элементов. Этот подход реализован в программном комплексе Idea StatiCa. Модель, выполненная в данной программе, дает современному инженеру достаточное количество информации о поведении узла, его напряженно-деформированном состоянии и коэффициентах использования отдельных компонентов, а также о результатах совместных проверок. Полученные результаты при расчете рамного узла с использованием этого комплекса были сравнительно расчетами, выполненными вручную по методикам различных нормативных документов.

**Ключевые слова:** компонентный метод конечных элементов, IDEA StatiCa, рамный узел, сравнительные расчеты ДБН и EN.

УДК 539.3

*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. 120-128.**

*У статті проведений розрахунок рамного вузла з використанням програмного комплексу IDEA StatiCa і порівняльний аналіз результатів з отриманими за методиками різних нормативних документів.*

Табл. 1. Рис. 6. Бібліогр. 7 назв.

UDC 539.3

*Pyskunov S.O., Mitsyuk S.V., Andriievskiy V.P., Mitsyuk D.V.* **Comparative analysis of the results of the calculation of the frame node in the IDEA STATICA CONNECTION software and according to the methods of normative documents // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-&-Technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2022. – Issue 109. – P. 120-128.**

*In the article, the calculation of the frame node using the IDEA StatiCa software complex and the comparative analysis of the results with the methods obtained by various regulatory documents is carried out.*

Table 1. Fig. 6. Ref. 7.



УДК 539.3

*Пискунов С.О., Мицюк С.В., Андриевский В.П., Мицюк Д.В. Сравнительный анализ результатов расчета рамного узла в программном средстве IDEA STATICA CONNECTION и методик нормативных документов // Сопроствление материалов и теория сооружений: науч.-тех. сборн. – К.: КНУСА, 2022. – Вып. 109. – С. 120-128.*

*В статье проведен расчет рамного узла с использованием программного комплекса IDEA StatiCa и сравнительный анализ результатов с полученными по методикам различных нормативных документов.*

Табл. 1. Рис. 6. Библиогр. 5 назв.

**Автор (вчена ступінь, вчене звання, посада):** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою динаміки і міцності машин та опору матеріалів Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Пискунов Сергій Олегович

**Адреса робоча:** 03056 Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Пискунов Сергій Олегович

**Роб. тел.:** +38(044) 241-5555

**E-mail:** s\_piskunov@ua.fm

**ORCID ID:** <http://orcid.org/0000-0003-3987-0583>

**Автор (вчена ступінь, вчене звання, посада):** кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник НДІ будівельної механіки КНУБА Мицюк Сергій Вікторович

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра будівельної механіки, Мицюк Сергій Вікторович

**Роб. тел.:** +38(044) 241-5555

**E-mail:** serewka@ukr.net

**ORCID ID:** <http://orcid.org/0000-0001-6481-4036>

**Автор (вчена ступінь, вчене звання, посада):** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки КНУБА Андриевський Віктор Петрович

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра будівельної механіки, Андриевський Віктор Петрович

**Роб. тел.:** +38(044) 241-55-38

**E-mail:** vandriievskiy@hotmail.com

**ORCID ID:** <http://orcid.org/0000-0002-6172-8797>

**Автор (вчена ступінь, вчене звання, посада):** керівник групи інженерів конструкторів Мицюк Дмитро Вікторович

**Адреса робоча:** 01001 Україна, м. Київ, Шевченківський район, вул. Михайлівська, будинок 18В, ТОВ "БЮРО ПРОЕКТІВ" Мицюк Дмитро Вікторович

**Роб. тел.:** +38(044) 235-1333

**E-mail:** mytsiuk.d.v@gmail.com

**ORCID ID:** <http://orcid.org/0000-0002-3583-8052>