



UDC 539.3

MODELING OF THE DEFORMATION IMPACT OF THE MAIN STRUCTURE FRAMEWORK ON THE STRESS AND STRAIN STATE OF ITS INDIVIDUAL PARTS

Mykola Kolisnyk¹; Volodymyr Iasnii¹; Sviatoslav Gomon²

¹*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine*

²*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine*

Summary. The paper presents the calculation of the metal frame of the stairwell under the action of static loads, which was performed using the Dlubal RFEM application software package. The computer modeling technique for the study of metal structures in this software environment was adapted in accordance with building regulations. The general stress calculation in software for the finite element analysis was performed and the selected sections were checked in the RF-STEEL EC3 calculation module for two groups of limit states. Various options for calculating a stairwell made of a metal frame are analyzed. The influence of deformations of the main framework of the structure on the stress-strain state of its individual part was evaluated using software.

Key words: steel stairwell, stress state, bending, deformation, finite element analysis.

https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.141

Received 15.02.2022

Statement of the problem. The materials of metal structures (steel, aluminum alloys) differ from other materials primarily by clear work under load, which brings the design model as close as possible to its conditions during operation. In the calculations, metals are considered as homogeneous, isotropic and continuous materials, which allows predicting their operation in elastic and plastic areas with sufficient accuracy. Accordingly, the reliability of the construction increases, which is essential when designing complex and non-standard structural forms.

Normative documentation defines the general principles of ensuring structural safety and reliability of structures, buildings and construction structures, including metal frames [1–6].

Recently, more and more elements of building structures are subjected to modeling under the action of operational load in order to optimize their geometric parameters and ensure strength. Such structural elements include concrete beams reinforced with composite materials [7] or alloys with shape memory [8], steel frames [9] and welded structures [10].

Metal frames, as a structural element of a structure or building, are affected by the operation of equipment (machines, devices, vehicles, lifting mechanisms), loads, loads from people, and atmospheric factors during the normal operating mode of the object. The nature and value of such impacts are determined taking into account the operating conditions of the equipment or limitations provided by regulatory documentation or project requirements [11–16].

To ensure trouble-free operation of building structures in general, the concepts of limit state, durability and reliability are introduced.

Reliability and durability are ensured by simultaneous fulfillment of the requirements for selected materials, volumetric planning and structural solutions, for the design and quality control of works in the manufacture of structures and their erection, calculation methods, as well as compliance with the rules of technical operation, supervision and care of constructions [1].

The objective of the article is to evaluate the effect of deformations of the main framework of the structure on the stress-strain state of its individual part by means of finite element modeling.

Methodology of experimental research. The stairwell calculation was performed using the RF-STEEL Members module. According to [16], the width of the staircase is 1450 mm; the length is 3900 mm (Fig. 1). The size of the steps: height – 150 mm; width – 300 mm.

The markings of the floors are presented in Fig. 1: the first – +0.000 m; the secondm +4.500 m; the third – +8.400 m; the fourth – +1.300 m.

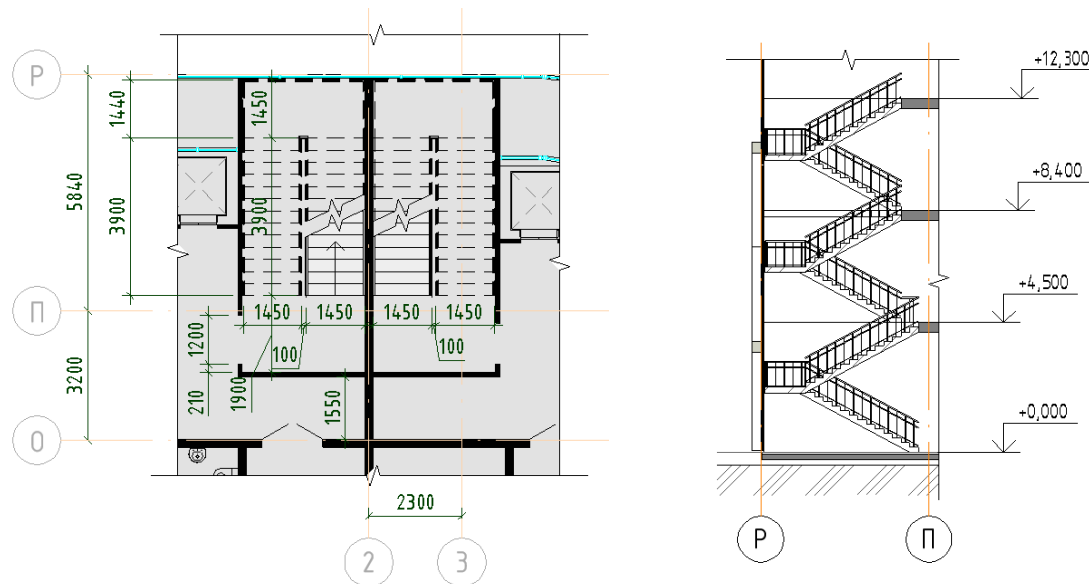


Figure 1. Stairwell: plan – a and section – b

The cross-sections are selected for the kosours and beams of the girder platform No.18 B2 and No.14 B2, respectively. The preliminary calculation was performed according to the first group of limit states. The result of the calculation (Fig. 2) shows that the understress is 70 percent in the selected cross-sections for kosours.

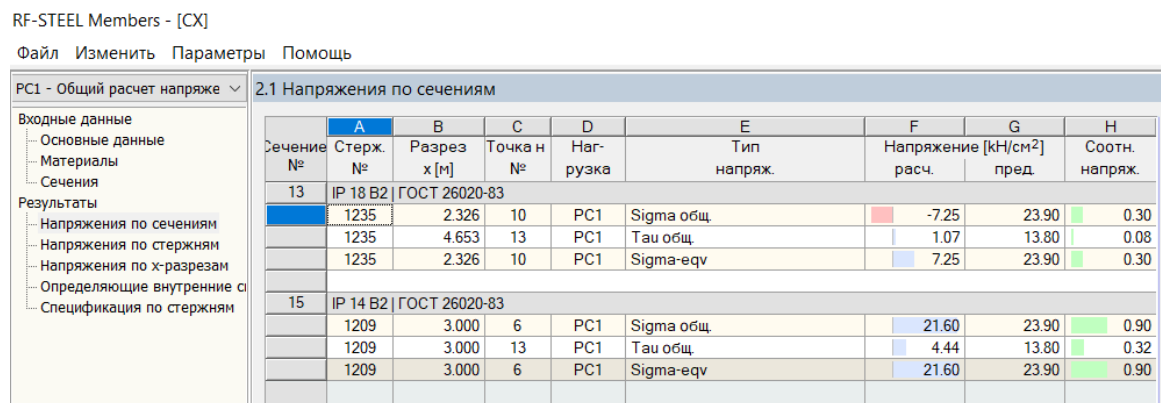


Figure 2. Preliminary calculation of stairwell elements for the first group of the limit state using RF-STEEL Members module

After that, the structure was calculated according to two groups of limit states in the RF-STEEL EC3 module – «Calculation of rods according to Eurocode 3». The numbered diagram of the stairwell elements is shown in Fig. 3.

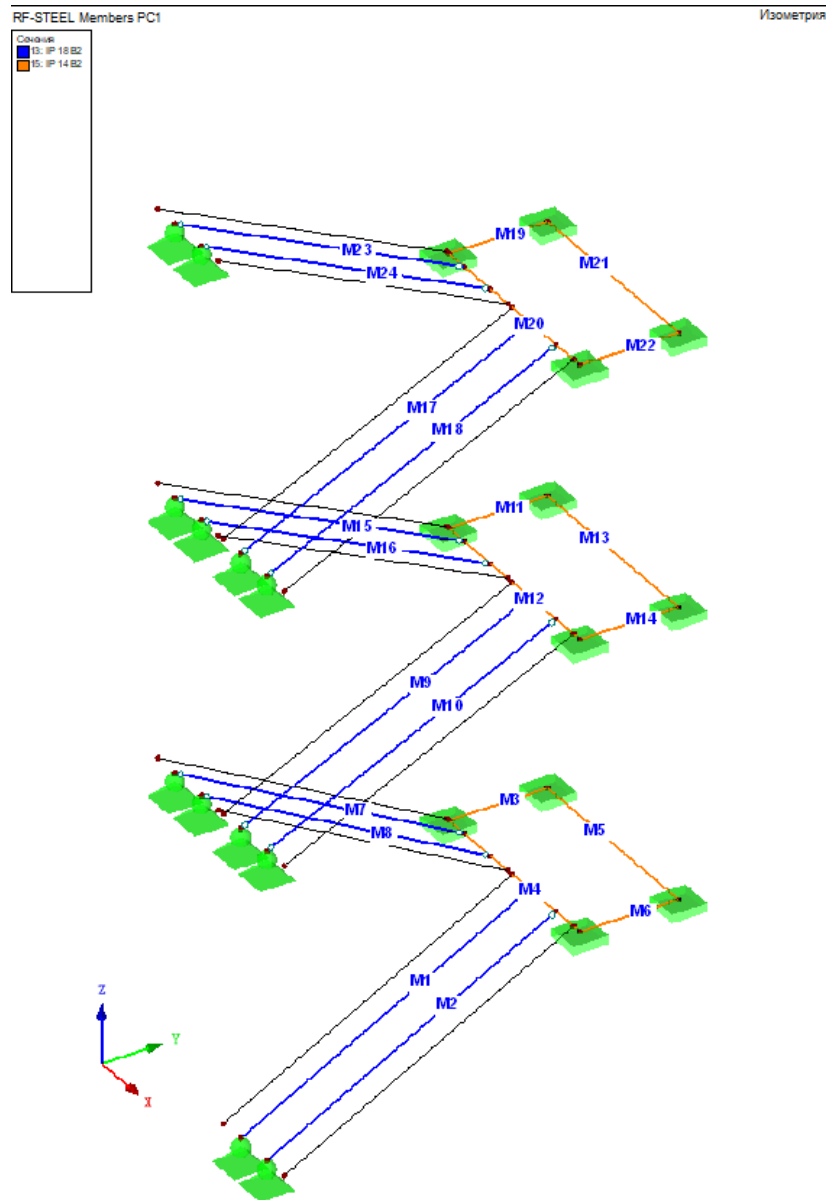


Figure 3. Numbered diagram of the stairwell model

The calculation of the stress-strain state of the stairwell elements was carried out in two ways. In the first case, kosours (staircase) were exposed to deformations of the main frame. The load on the overlap of the main frame was 3.0 kN/m², the own weight of the structure and the useful load on the stairwell were also taken into account. In the second case, the stairwell was calculated as a separate system, where the support nodes to the main frame were replaced with hinged supports, taking into account only the own weight of the structure and the useful load on the stairwell.

Research results. Based on the analysis of the calculation results of the RF-STEEL EC3 module, it can be concluded that the sections selected in this way satisfy the requirements of the first and second groups of limit states. The cross-sections are selected for the kosours and beams of the girder platform No.18 B2 and No.14 B2, respectively. The result of the calculation presented in Fig. 4 shows that in the selected cross-sections, the margin for kosours is 28%, and for platform beams – 8%.

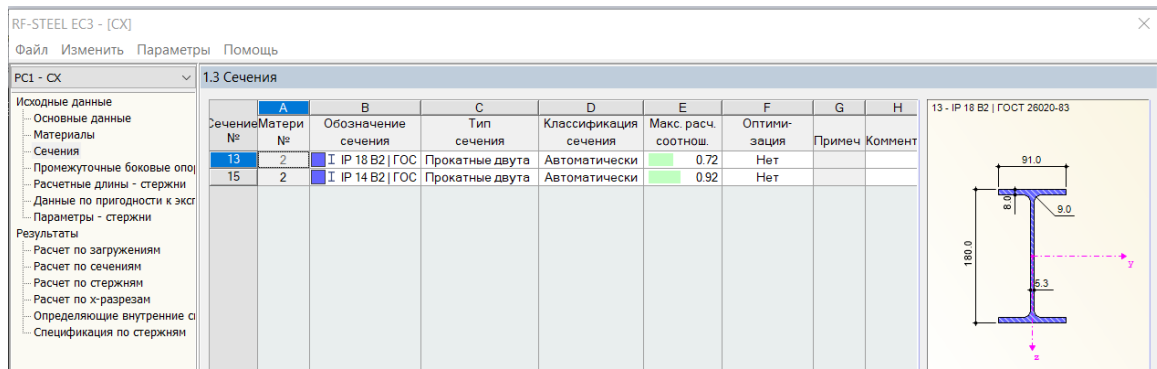


Figure 4. Preliminary calculation of stairwell elements for the first group of limit state using the RF-STEEL EC3 module

After checking the selected sections with the help of calculation modules, the VAT of the stairwell elements of two calculation options can be compared: option 1 (Fig. 5 a) and option 2 (Fig. 5 b).

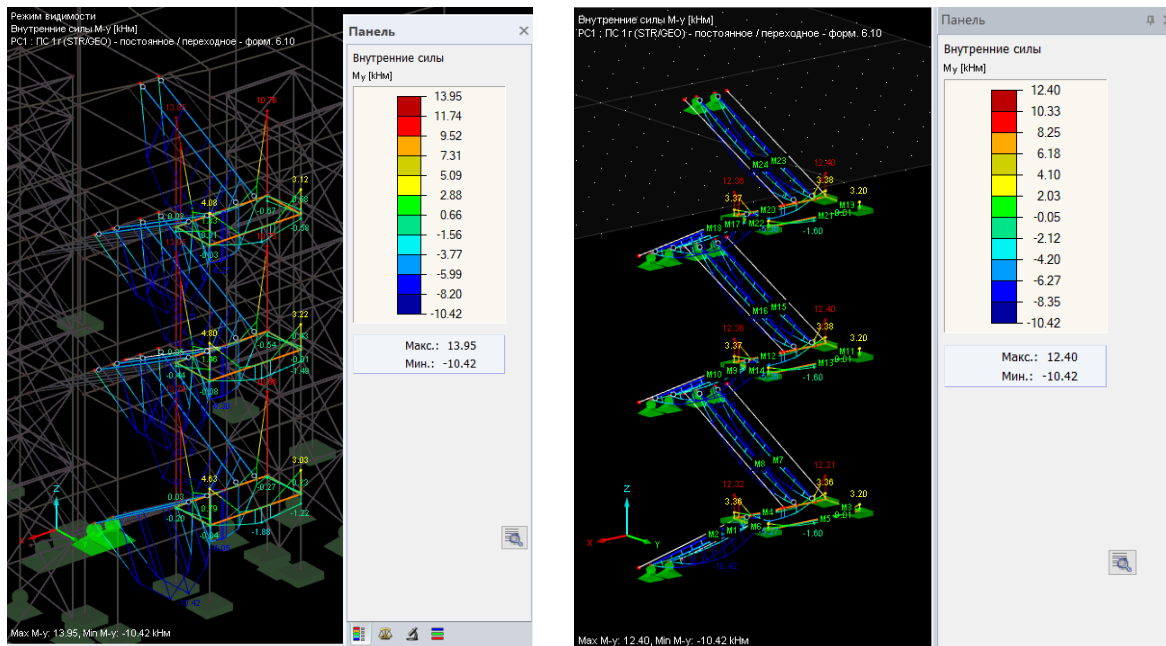


Figure 5. Bending moment diagrams M_y of stairwell : option 1 – a, and option 1 – b

Based on the analysis of the moment graphs (Fig. 5), the maximum bending moment for the first option is found equal to $M_y = 13.95 \text{ kN}\cdot\text{m}$, and for the second – $M_y = 12.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$. That is, depending on the selected calculation scheme, the difference between the results can be $1.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$, which in percentage terms means that the influence of deformations of the main frame adds an additional force of 11.11%.

Similarly, based on the analysis of the transverse force graphs, the maximum transverse force for the first variant is found equal to $V_z = 26.67 \text{ kN}$, and for the second – $V_z = 25.90 \text{ kN}$. That is, depending on the selected calculation scheme, the difference between the results can be 0.77 kN , which in percentage terms means that the influence of deformations of the main frame adds an additional transverse force of 2.9%.

Visualization of the stairwell deformation scheme for option 1 is shown in Fig. 6 a and option 2 – Fig. 6 b.

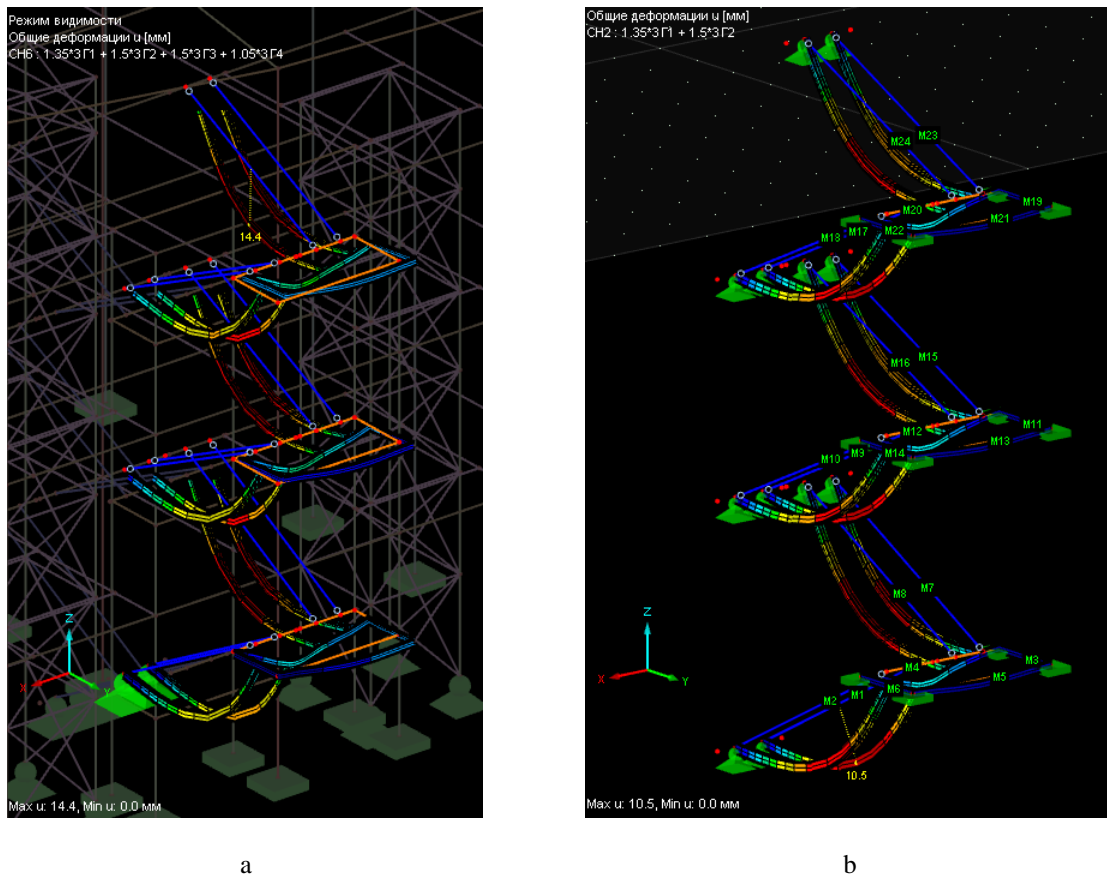


Figure 6. Deformation of the frame element: option 1 – a, and option 1 – b

Having analyzed the deformed schemes of the 1st and 2nd options, we can conclude that in the first case the maximum frame deformations are 14.4 mm, in the second – 10.5 mm. The maximum deformation value of the stairwell according to the 1st option, which takes into account the influence of the main frame, is found 27% more compared to the calculation of kosours as a separate system.

The obtained research results indicate the importance of considering the influence of the load and deformations of the main frame on individual structural elements. These results can be used in the calculations of elements of metal structures taking into account the influence of deformation of the main frame.

Conclusions. The computer modeling technique for the study of metal structures in the Dlubal RFEM environment was adapted. A general stress calculation was performed in finite element analysis software. The selected cross-sections were checked in the RF-STEEL EC3 calculation module for two groups of limit states. Two variants of the calculation of the stairwell in a metal frame were analyzed, the first, where the stairwell is subjected to the action of the main frame, the second – the research structure is considered locally. The influence of deformations of the main frame of the structure on the stress-strain state of its individual part is analysed. Based on the results of stress-strain state studies, the bending moment, shearing force and deformations were found greater when calculating the stairwell taking into account the action of the main frame.

References

1. DBN V.1.2-14-2009. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnikh konstruktsii ta osnov. K.: Ukrarkhbudininform, 2009. 37 p.

2. DBN V-2.6-163:2010 Konstruksii budivel i sporud. Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia, vyhotovlennia i montazhu. K.: Ukrarkhbudinform, 2009. 206 p.
3. DBN V.2.6-198:2014 Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia. K.: Minrehion Ukrainy, 2014. 128 p.
4. DSTU-N B EN 1993-1-1:2010 Yevrokod 3. Proektuvannia stalevykh konstruksii. Chastyna 1–1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud (EN 1993-1-1:2005, IDT).
5. DSTU-N B EN 1993-1-2:2010 Yevrokod 3. Proektuvannia stalevykh konstruksii. Chastyna 1–2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruksii na vohnestiikist (EN 1993-1-2:2005, IDT).
6. DSTU-N B EN 1993-1-5:2010 Yevrokod 3. Proektuvannia stalevykh konstruksii. Chastyna 1–5. Plastynchasti konstruktyvni elementy (EN 1993-1-5:2006, IDT).
7. Kononchuk O., Iasnii V., Lutsyk N. Prediction of reinforced concrete structures behavior using finite element method. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. 2022. P. 177–181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.021>
8. Bykiv N., Yasniy P., Iasnii V. Modeling of mechanical behavior of reinforced concrete beam reinforced by the shape memory alloy insertion using finite elements method. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. 2020. Vol. 13. P. 24–34. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3\(13\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3(13)-03)
9. Benzel O., Lavrinenko L. Informatsiine modeliuвання stalevoi budivli iz pidvyschenymy vymohamy zhorstkosti. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, 2021 T. 9. P. 30–44. DOI: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.30-44>
10. Kovalchuk Y., Shynhera N., Chornomaz N. Stress-strain state of a bottom chord of a welded roof. *Scientific Journal of TNTU*. Tern.: TNTU. 2019. Vol. 93. No. 1. P. 41–46. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.01.041
11. DSTU-N B EN 1991-1-1:2010 Yevrokod 1. Dii na konstruksii. Chastyna 1-1. Zahalni dii. Pytoma vaha, vlasna vaha, ekspluatatsiini navantazhennia dlia sporud (EN 1991-1-1:2002, IDT).
12. DSTU-N B EN 1991-1-2:2010 Yevrokod 1. Dii na konstruksii. Chastyna 1–2. Zahalni dii. Dii na konstruksii pid chas pozhezhi (EN 1991-1-2:2002, IDT).
13. DSTU-N B EN 1991-1-3:2010 Yevrokod 1. Dii na konstruksii. Chastyna 1–3. Zahalni dii. Snihovi navantazhennia (EN 1991-1-3:2003, IDT).
14. DSTU-N B EN 1991-1-4:2010 Yevrokod 1. Dii na konstruksii. Chastyna 1 – Zahalni dii. Vitrovi navantazhennia (EN 1991-1-4:2005, IDT).
15. DSTU-N B EN 1991-1-7:2010 "Yevrokod 1. Dii na konstruksii. Chastyna 1 – Zahalni dii. Osoblyvi dynamichni vplyvy (EN 1991-1-7:2006, IDT).
16. DBN V.2.2-40-2018 "Inkluzyvnist budivel i sporud". K.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku i budivnytstva Ukrainy, 2018. 68 p.

Список використаної літератури

1. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основу К.: Укрархбудінформ, 2009. 37 с.
2. ДБН В-2.6-163:2010 Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу К.: Укрархбудінформ, 2009. 206 с.
3. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014. 128 с.
4. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1–1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT).
5. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1–2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT).
6. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1–5. Пластинчасті конструктивні елементи (EN 1993-1-5:2006, IDT).
7. Kononchuk O., Iasnii V., Lutsyk N. Prediction of reinforced concrete structures behavior using finite element method. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. 2022. P. 177–181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.021>
8. Bykiv N., Yasniy P., Iasnii V. Modeling of mechanical behavior of reinforced concrete beam reinforced by the shape memory alloy insertion using finite elements method. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. 2020. Vol. 13. P. 24–34. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3\(13\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3(13)-03)
9. Бензель О., Лавріненко Л. Інформаційне моделювання сталеві будівлі із підвищеними вимогами жорсткості. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 2021 Т. 9. С. 30–44. DOI: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.30-44>
10. Kovalchuk Y., Shynhera N., Chornomaz N. Stress-strain state of a bottom chord of a welded roof. *Scientific Journal of TNTU*. Tern.: TNTU. 2019. Vol. 93. No. 1. P. 41–46. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.01.041
11. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–1. Загальні дії. Питомі вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2002, IDT).

12. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
13. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–3. Загальні дії. Снігові навантаження (EN 1991-1-3:2003, IDT).
14. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1 – Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991-1-4:2005, IDT).
15. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7:2010 "Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-Загальні дії. Особливі динамічні впливи (EN 1991-1-7:2006, IDT).
16. ДБН В.2.2-40-2018 «Інклюзивність будівель і споруд». К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва України, 2018. 68 с.

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЇ ОСНОВНОГО КАРКАСУ КОНСТРУКЦІЇ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ОКРЕМИХ ЇЇ ЧАСТИН

Микола Колісник¹; Володимир Ясній¹; Святослав Гомон²

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна

²Національний університет водного господарства та
природокористування, Рівне, Україна

Резюме. Матеріали металевих конструкцій (сталі, алюмінієві сплави) відрізняються від інших матеріалів насамперед роботою під навантаженням, що максимально наближує розрахункову модель конструкції до її умов під час експлуатації. В розрахунках метали розглядаються як однорідні, ізотропні та суцільні матеріали, що дозволяє з достатньою точністю спрогнозувати їхню роботу на пружній та пластичній ділянках. Відповідно підвищується надійність роботи конструкції в цілому, що є суттєвим при проектуванні складних та нестандартних конструктивних форм. Для забезпечення безаварійної експлуатації будівельних конструкцій у цілому вводяться поняття граничний стан, довговічність і надійність. Надійність і довговічність забезпечуються одночасним виконанням вимог, що висуваються до вибраних матеріалів, об'ємно-планувальних та конструктивних рішень, до проектування та контролю якості робіт при виготовленні конструкцій та їх зведенні, методів розрахунку, а також дотриманням правил технічної експлуатації, нагляду і догляду за конструкціями. Тому важливо є оцінити вплив деформацій основного каркасу конструкції на напружено-деформований стан окремої її частини шляхом моделювання методом скінчених елементів. У роботі представлено розрахунок металевого каркасу сходової клітки під дією статичних навантажень, який виконано з використанням прикладного програмного пакета Dlubal RFEM. Адаптовано методику комп'ютерного моделювання для дослідження металевих конструкцій у даному програмному середовищі відповідно до будівельних норм. Розрахунок напружено-деформованого стану елементів сходової клітки виконували за двома варіантами. У першому випадку косоури піддавали впливу деформацій основного каркасу. Окрім навантаження на перекриття основного каркасу також враховували власну вагу конструкції та корисне навантаження на сходову клітку. У другому випадку сходову клітку розраховували як окрему систему, де вузли обпирання до основного каркасу замінювали шарнірними опорами, враховуючи лише власну вагу конструкції та корисне навантаження на сходову клітку. Оцінено вплив деформацій основного каркасу конструкції на напружено-деформований стан окремої її частини за допомогою програмного забезпечення. Встановлено, що при представленні результатів досліджень напружено-деформованого стану згинальний момент, перерізує зусилля та деформації були більшими при розрахунку сходової клітки з урахуванням дії основного каркасу.

Ключові слова: металева сходовою клітка, напружений стан, згин, деформації, скінченно-елементний аналіз.

https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.141

Отримано 15.02.2022