

УДК 624.9

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ФОРМИ КОНУСНОЇ СТАЛЕВОЇ СТРУКТУРНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ

SELECTION OF THE RATIONAL SHAPE OF THE CONE STEEL STRUCTURAL STRUCTURE USING THE BIO ENERGY METHOD

Вознюк Л.І., к.т.н., старший викладач, ORCID: 0000-0001-9512-8338 (Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів)

Vozniuk L.I., Ph.D., senior lecturer, ORCID: 0000-0001-9512-8338 (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

У статті розглянуто системи сталевих структурних конструкцій. Аналіз, конструкцій проведено на основі біоенергетичного методу. Застосування БЕО-методу передбачає побудову енергетичного портрету конструкції. Використовуючи БЕО-метод, на прикладі аналізу і порівняння п'яти конструктивних схем, при однаковій площі та при однаковій витраті сталі вибрано найбільш ефективну конструктивну схему.

The article deals with systems of steel structural structures. The analysis of constructions was carried out on the basis of the bioenergetic method.

The purpose of the study is to develop a calculation scheme of a conical structure made of steel structures, which can be made of flat or three-dimensional structural elements, and to determine the most rational angle of inclination of the cone face using the bioenergetic method (BEO-method).

The task of the research is to conduct a study of options for calculation schemes of conical steel structures based on the BEO method and to choose the most rational option.

structural structures of domes with different angles of inclination of the supporting structures. Each of the schemes is built from ten three-dimensional structural elements, which hinge on the foundation at the base, and are united in a circle at the top using steel I-beams.

The analysis and rationalization of the structure considered in this publication was carried out on the basis of the bioenergetic method (BEO-method) of Professor V. S. Shmukler.

The investigation of structural steel structures was carried out using numerous methods and tools, such as computer simulation, using PC LIRA 10.0.

The obtained results and the analysis carried out in the article show that with the help of the BEO method, it is possible to form various core spatial and

planar systems.

The analysis of the potential energy of deformation and the density of the fields of the potential energy of deformation significantly increases the possibilities when performing variant design, which allows at the stage of operational design to reasonably choose the best variant of the structural system at a given steel consumption.

Ключові слова: структурна конструкція, ВЕО-метод, моделювання, розрахункова схема
structural design, ВЕО method, modeling, calculation scheme.

Вступ. Останнім часом, сталеві великопролітні конструкції стали популярними у сучасній архітектурі. Такі конструкції дозволяють створювати будівлі вільної форми, які можуть бути вражаючими візуально та естетично привабливими.

Зростаючий попит на великопролітні конструкції в архітектурі відображає зміну у підходах до будівництва та проектування будівель. Архітектори все більше використовують сталеві великопролітні конструкції для створення вражаючих будівель з унікальними формами та архітектурними рішеннями. Це дозволяє створювати будівлі, які не тільки естетично привабливі, але й ефективні та функціональні. Використання сталевих великопролітних конструкцій у архітектурі дозволяє створювати незабутні проекти, які вражають та залишаються в пам'яті на довгий час.

Наукові дослідження та технічні новації у галузі сталевих структурних великопролітних конструкцій знаходять своє застосування в будівництві різноманітних об'єктів - від споруд та архітектурних композицій до промислових будівель та інфраструктурних споруд

З одного боку, геометричні форми можуть бути складними та унікальними, що забезпечує естетичний та архітектурний ефект, а з іншого - зберігати принципи уніфікації та типізації, щоб знизити витрати та забезпечити якість конструкції.

Застосування сталевих великопролітних конструкцій також дозволяє зберігати природні ресурси та зменшувати вплив будівництва на довкілля. Сталь може бути вторинною сировиною та перероблятися, що дозволяє зменшувати використання нових матеріалів та зменшувати кількість відходів.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні вчені з усього світу активно працюють над удосконаленням структурних великопролітних конструкцій та зменшенням їх ваги з одночасним збереженням міцності та стійкості [1-5,8]. Однією з найбільших проблем в даному питанні є складність монтажу та збирання конструкцій, а також проблеми з вузлами [7]. Важливо зазначити, що на етапі монтажу має бути забезпечена висока точність установки, що потребує високого рівня кваліфікації працівників та спеціалізованого обладнання. У зв'язку зі складністю структури, вузли зазвичай мають складну

форму та складне виконання, що ускладнює процес монтажу [9-12]. Через це, у багатьох дослідженнях активно вивчаються питання оптимізації та раціоналізації таких конструкцій [1-3,5-12].

Варто відмітити, що невід'ємною частиною будь-якої великопролітної конструкції є геометрія. У створенні складних великопролітних конструкцій важливо мати чітке розуміння геометрії. Архітектор, який створює концепцію будівлі, повинен бути знайомий з принципами геометрії, щоб забезпечити правильне співвідношення між формою та функціональністю будівлі. Інженер-конструктор, у свою чергу, повинен розуміти геометричні принципи, щоб розробити конструкцію, яка відповідає концепту архітектора та виконує своє функціональне призначення [3,7,11].

Уніфікація та типізація великопролітних структурних конструкцій є дуже важливою [6,13,14]. Оскільки, типовість елементів конструкції забезпечує високу якість та стійкість конструкцій, знижує витрати на виробництво та збірку, а також дозволяє прискорювати процес будівництва.

Вузли структурних конструкцій часто мають досить складну геометрію, що ускладнює процес їхнього виготовлення та монтажу. Зокрема, вузли можуть мати велику кількість вирізів, отворів чи додаткових пластин, що потребують додаткової обробки та спеціального обладнання для їхнього виготовлення. Крім того, при виготовленні таких вузлів необхідно дотримуватися дуже високих стандартів якості та точності [9,10]. Також потрібно багато часу для виконання кваліфікованими робітниками. Ці фактори призводять до збільшення термінів монтажу та збільшення витрат на виготовлення та монтаж таких структурних великопролітних конструкцій.

Проведений аналіз досліджень сталевих структурних конструкцій підтверджує актуальність цієї тематики для сучасного проектування та будівництва. Станом на сьогодні актуальним є ефективне використання простору будівлі чи споруди.

Мета дослідження. Розробити розрахункові схеми конусної споруди із сталевих конструкцій, яка може виконуватися із плоских або об'ємних елементів структури, та визначити найбільш раціональний кут нахилу грані конуса використовуючи біонергетичний метод (ВЕО-метод).

Задачею дослідження є проведення дослідження варіантів розрахункових схем конусних сталевих структурних споруд на основі ВЕО-методу та вибір найбільш раціонального варіанту.

Методика дослідження. Для виконання завдання розроблено п'ять розрахункових схем сталевих структурних конструкцій куполів із різними кутами нахилу несучих конструкцій. Кожна із схема побудована із десяти об'ємних структурних елементів, які шарнірно опираються на фундаментом в основі, а вгорі об'єднуються по колу із використанням сталевих двотавра. Із площини об'ємних елементів влаштовано розпірки. Розрахункові схеми побудовані із використанням ПК ЛІРА-САПР (рис. 1,2).

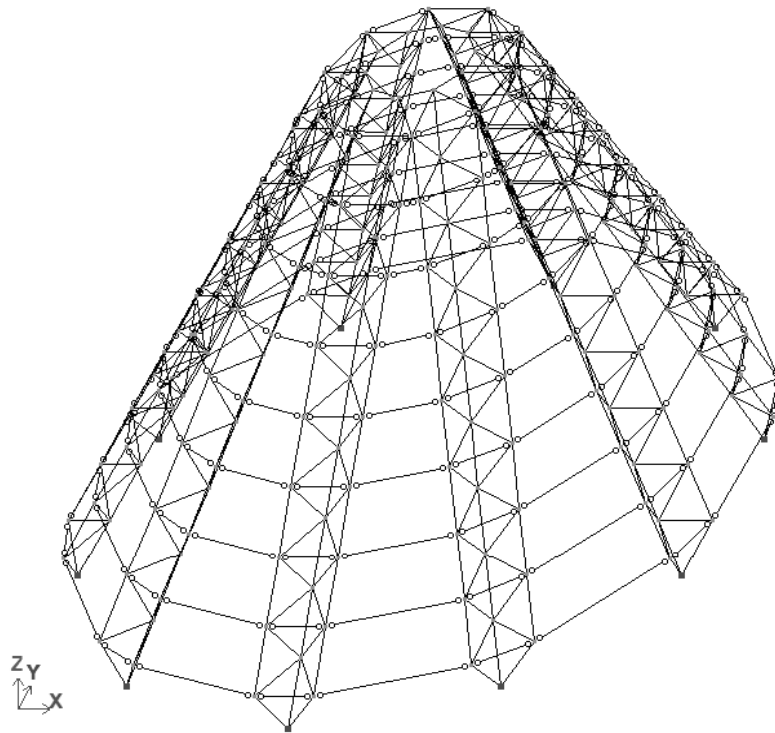
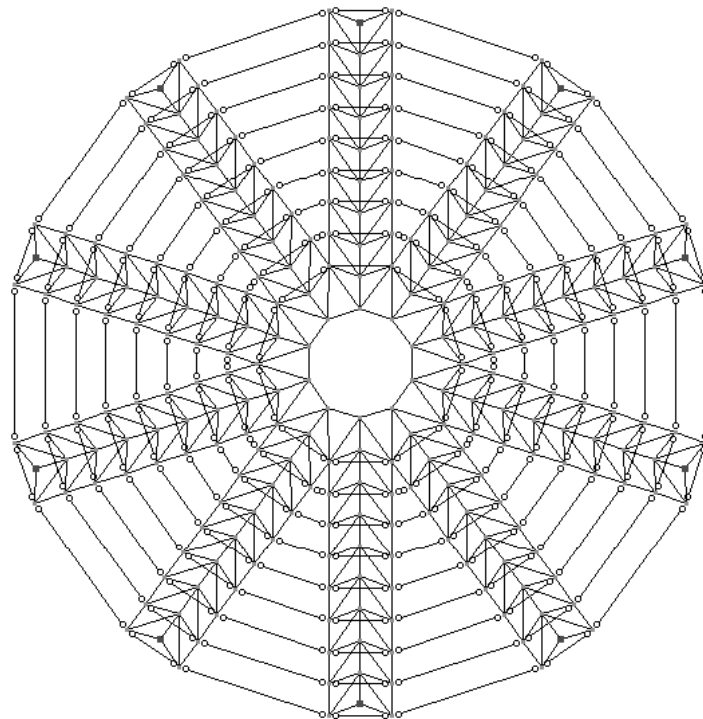


Рис. 1. 3D-вид розрахункової схеми конусної сталеві структурної конструкції



v

Рис. 2. Вид у плані конусної сталеві структурної конструкції

Аналіз і раціоналізацію, розглянутих у цій публікації конструкції, проведено на основі біоенергетичного методу (ВЕО-метод) професора Шмуклера В.С. [14].

Дослідження структурних сталевих конструкцій проводилося з використанням численних методів та інструментів, таких як комп'ютерне моделювання, із використанням ПК ЛІРА 10.0 [15].

Застосування ВЕО-методу передбачає побудову енергетичного портрету конструкції, тобто аналізу полів щільності потенціальної енергії деформації і аналіз трансформації самої потенціальної енергії деформації, при зміні зовнішніх параметрів.

Результати дослідження. Для порівняння, було виконано розрахунок п'яти моделей конусних сталевих структурних конструкцій, які описані вище. Також варто відзначити, що маса усіх чотирьох розглянутих схем була однаковою. Результати розрахунків подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку конусної сталеві структурної конструкції

№ схеми	Кут структур и, в градусах	Максималь не вертикальне переміщенн я схеми, мм	Частота власних коливан ь системи, Гц	ПЕД систем и кНм	%, використання перерізу із найбільшим зусиллям перерізу	
					I ГГС	II ГГС
1	30	13.2	0.3012	7.380-2	143.6	98.8
2	35	10	0.5830	6.270-2	127.8	89.7
3	40	7.5	0.8775	5.210-2	114.8	83.4
4	45	5.92	1.1228	4.190-2	104	78.8
5	50	5.69	1.4335	3.019-2	95.6	75.6

Як видно із таблиці 1 найменша величина потенціальної деформації системи у варіанті 5 із кутом нахилу 50 градусів, при тому, що усі розглянуті варіанти мали однаково витрату сталі. Також при куті 50 градусів найбільш ефективно використовуються перерізи елементів структури.

Це свідчить про те, що застосування варіантного проектування дає можливість вибрати кращий варіант конструктивної схеми та форми споруди, при заданій витраті сталі, а також при однаковому зовнішньому навантаженні. Аналізуючи потенціальну енергію деформації системи та поля щільності розподілу потенціальної енергії деформації найкращим буде варіант із мінімальним значенням потенціальної енергії системи, а також із рівномірним розподілом щільності потенціальної енергії.

На рис. 3 зображено розподіл щільності потенціальної енергії деформації на прикладі розрахункової схеми споруди із кутом нахилу 50 градусів.

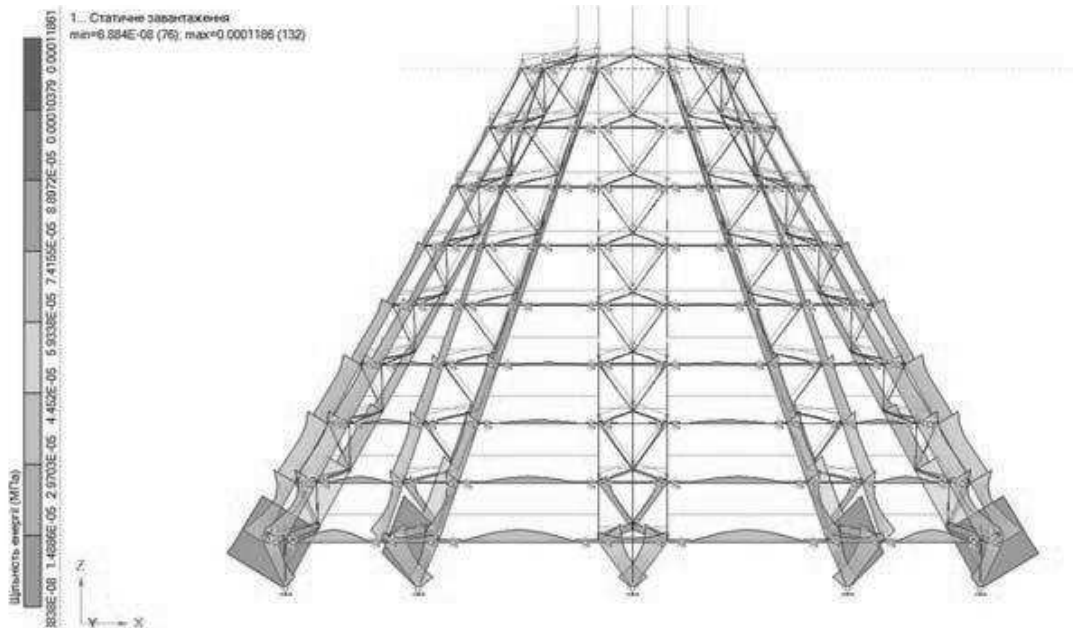


Рис. 3. Розподіл щільності потенціальної енергії деформації системи

Крім цього був проведений модальний аналіз власних коливань всіх варіантів обумовлених у табл. 1. Варто відмітити, що частота власних коливань у конусній сталевій структурній конструкції із кутом нахилу 50 градусів була найбільшою, що свідчить про ефективність конструкції у порівнянні з іншими розглянутими варіантами, при їх однакових умовах опирання та витраті сталі.

Висновки. Отримані результати та аналіз, який проведений у статті показує, що за допомогою ВЕО-методу можна формувати різні стержневі просторові і плоскі системи.

Аналіз потенціальної енергії деформації та щільності полів потенціальної енергії деформації суттєво підвищує можливості при виконанні варіантного проектування, що дозволяє на стадії робочого проектування обґрунтовано вибирати кращий варіант конструктивної системи при заданій витраті сталі. Приклад такого порівняння показано при порівнянні конусних сталевих структурних конструкцій (табл. 1).

1. Koronaki A., Shepherd P., Evernden M.: Rationalization of freeform space-frame structures: Reducing variability in the joints. *International Journal of Architectural Computing*, vol. 18, pp. 84-99 (2020).

2. Koronaki A, Shepherd P, Evernden M.: Geometry optimization of space frame structures for joint modularity. In: Adriaenssens S, Mueller C (eds) *IASS annual symposium: creativity in structural design*, Boston, MA, pp. 16–20 (2018).

3. Lee T.-U., Liu Y., Xie Y.M.: Dividing a Sphere Hierarchically into a Large Number of Spherical Pentagons Using Equal Area or Equal Length Optimization. *CAD Computer Aided Design*, vol. 148, 116016 (2022).

4. Fu F. and Parke G. A. R.: Assessment of the Progressive Collapse Resistance of Double-Layer Grid Space Structures Using Implicit and Explicit Methods. *International Journal of Steel Structures* 18(3), pp. 831–842 (2018).
5. Austern G., Capeluto I.G., Grobman Y.J.: Rationalization methods in computer aided fabrication: A critical review. *Automation in Construction*, vol. 90, pp. 281-293 (2018).
6. Lu H., Xie Y. M.: Reducing the number of different members in truss layout optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 66, Article number: 52, Springer (2023).
7. Brütting J., Vandervaeren C., Senatore G., De Temmerman N., Fivet C.: Environmental impact minimization of reticular structures made of reused and new elements through Life Cycle Assessment and Mixed-Integer Linear Programming. *Energy and Buildings*, vol. 125, 109827 (2020).
8. Yan G., Fang C., Feng R., Hua X., Zhao Y.: Detection of member overall buckling in civil space grid structures based on deviation in normal strain along the member. *Engineering Structures* 131, pp. 599–613 (2017).
9. Weng Z., Zhao Y., Jin Y., Zhou G.: Classification and development demand of assembled connectors in space grid structures. *Jianzhu Jiegou Xuebao/Journal of Building Structures* 39(3), pp. 32–38 and 47 (2018).
10. de Oliveira I.M., Pauletti R.M.D.O., Meneghetti L.C.: Connection system for gridshell structures using parametric modeling and digital fabrication. *Automation in Construction*, vol. 109, Article number 102996 (2020).
11. Fivet C., Brütting J.: Nothing is lost, nothing is created, is reused structural design for a circular economy. *Structural Engineer*, vol. 98, pp. 74-81 (7. Yan S., Zhao X., Chen Y., Xu Z., Lu Y.: A new type of truss joint for prevention of progressive collapse. *Engineering Structures*, vol. 167, pp. 203-213 (2018).
12. Sun G., Xiao S., Qu X., Zhuang P.: Experimental and numerical study on truss string structure considering hysteretic performance asymmetry. *Journal of Building Engineering*, vol. 70, Article number 106311 (2023).
13. Shmukler, V.: About one approach to the formation of design technology of rational designs; *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, vol. 98, pp. 93-113 (2022).
14. Shmukler, V., Babaev, V., Shimanovskiy, O. and other.: *Rational Design of Structural Building Systems*; Berlin: DOM publishers – 384 p. (2020).
15. Lira-Sapr. URL: [http:// https://www.liraland.ua/lira/](http://https://www.liraland.ua/lira/)