

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.27.8>

УДК 624.014

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОСТОРОВОГО ПОКРИТТЯ

**Машков Ігор Леонідович<sup>1</sup>, Скребнева Світлана Миколаївна<sup>2</sup>,  
Баранецька Дарія Сергіївна<sup>3</sup>, Глушаниця Анна Ігорівна<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Старший викладач кафедри комп'ютерних технологій будівництва  
та реконструкції аеропортів

Національного авіаційного університету, Київ, Україна,  
e-mail: iigor61@ukr.net, orcid: 0000-0001-5582-5059

<sup>2</sup>Кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва  
та реконструкції аеропортів

Національного авіаційного університету, Київ, Україна,  
e-mail: svetaskreb@ukr.net, orcid: 0000-0003-4082-5181

<sup>3</sup>Кандидат технічних наук, асистент кафедри комп'ютерних технологій будівництва  
та реконструкції аеропортів

Національного авіаційного університету, Київ, Україна,  
e-mail: bardariias@gmail.com, orcid: 0000-0002-5698-1050

<sup>4</sup>Кандидат технічних наук, асистент кафедри комп'ютерних технологій будівництва  
та реконструкції аеропортів

Національного авіаційного університету, Київ, Україна,  
e-mail: ah15082504@gmail.com, orcid: 0009-0007-2083-3279

**Анотація.** У статті розглянуто проблему вибору конструктивної форми покриття будівлі для ефективного забезпечення виконання його функцій. Основні критерії під час вибору форми: функціональність і конструктивна надійність. Покриття являють собою систему об'ємних елементів, так званих структурних блоків. Робота просторового покриття може змінитись у разі зміни положення стрижнів у його елементах. Проведено вибірковий аналіз конструктивних рішень окремих елементів покриття з урахуванням ефективної роботи його складових частин.

**Мета.** Визначення раціонального типу покриття з урахуванням ефективності його роботи в різних конструктивних варіантах.

**Методологія.** Вибір форми покриття здійснюється за допомогою чисельних методів оптимізації, які реалізуються із залученням комп'ютерних засобів шляхом обрання раціональних конструктивних рішень окремих елементів покриття з максимально ефективним використанням їхніх складових частин.

**Результати.** Робота стрижневої конструкції оцінювалась за значенням зусиль і деформуванням покриття залежно від напрямків розташування стрижнів у його елементах. Силкові чинники та деформації змінюють свої значення та знак. Виявлені стрижні з максимальними значеннями зусиль. Дана оцінка деформації форми покриття внаслідок конструкційної зміни елементів.

**Наукова новизна.** Відповідно до запропонованих варіантів систем проаналізовано найкоротший шлях від точок сприйняття зовнішніх силових дій до точок їх передачі в конструкції. Вибір раціональної форми здійснюється шляхом аналізу зміни напружено-деформованого стану просторового покриття.

**Практична значущість.** Основна вимога до металевих конструкцій – відповідність конструктивної форми функціональним, естетичним і експлуатаційним характеристикам. Дослідження може принести користь, тому що під час проектування конкретних об'єктів постає необхідність пошуку нових конструктивних рішень, що відповідають поставленим завданням для просторової конструкції з урахуванням специфіки її роботи.

**Ключові слова:** металеві конструкції, просторові покриття, конструктивні рішення, міцність, стійкість, жорсткість, елементи покриття, стрижнева конструкція, зусилля, деформації.

## ВСТУП

У наш час постійно зростає необхідність зведення промислових будівель і громадських споруд. Постає необхідність швидкого планування майбутнього конструктивного рішення об'єкта проектування. Великопрогонові металокаркасні конструкції в сучасному будівництві поділяються на металокаркасні спеціального призначення, нестандартні металокаркасні (естакади, мости), швидкокомпоновані споруди (промислові, торговельні, спортивні споруди). Одне з головних завдань полягає у виборі оптимального варіанту перекриття. Під час проектування необхідно врахувати не тільки всі чинники, що впливають на роботу перекриття, та розрахувати його. У сучасному проектуванні важливу роль відіграє чинник мінімізації витрат на будівництво [11]. Конструкторські рішення таких споруд дуже часто є складними та потребують особливого підходу та технічних рішень. Треба врахувати такі чинники, як виготовлення, транспортування, монтаж, навантаження на фундаменти, витрати матеріалу, трудовитрати тощо [12]. Необхідно проаналізувати ефективність використання перекриття, беручи до уваги корисний об'єм будівлі, розміри перекриття, конструктивні особливості, проаналізувати роботу елементів конструкції, що впливає на ефективність роботи великопрогонового перекриття, ефективність використання матеріалу, вибрати оптимальний з економічного та естетичного погляду варіант перекриття.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Накопичений досвід проектування та будівництва з використанням просторових конструкцій підтверджує раціональність, ефективність і універсальність їх технічних рішень, що забезпечують підвищені ресурси силового опору та стійкості до руйнування. Просторові конструкції можна спирати на колони в будь-якій точці. Такі конструкції спроможні сприймати нерівномірні, зосереджені навантаження, мають підвищену жорсткість. За

великих прогонів доцільніше застосовувати просторові конструкції, через їхню підвищену жорсткість і надійність (рис. 1) [13; 14].

Несуча система покриття повинна переорієнтувати силовий потік і направити його в опори. У результаті робота конструкції відбувається у трьох основних фазах: 1 – сприйняття навантажень, 2 – переорієнтація навантажень у внутрішні силові потоки, 3 – направлення навантажень в опори. З погляду напруженого стану та способу дії розрізняють кілька конструктивних механізмів сприйняття та передачі зовнішніх навантажень в опори. У просторових конструкціях покриттів і фермах реалізується механізм векторного розкладання зусиль у вузлах ґратчастих систем. Навантаження передаються в опори шляхом зміни стиснутих і розтягнутих стрижнів. В елементах, активних за вектором конструкцій, виникає різнознаковий одноосний напружений стан – розтяг або стиск [10].

Проектування можна розглядати як вибір архітектурної та конструктивної форми будівлі для забезпечення її функції [3]. Основні критерії під час вибору форми: функціональність і конструктивна надійність, що складається із трьох базисних компонентів: надійності, довговічності, ремонтнопридатності [1]. Для забезпечення цих компонентів під час створення конструктивної форми застосовують низку першорядних принципів проектування [2]. Відповідно до принципу передачі зусиль найкоротшим шляхом, має бути обраний найкоротший шлях від точок сприйняття зовнішніх силових дій до точок їх передачі в конструкції. Згідно із принципом нерозривності передачі зусиль, їх передача має бути безперервною від точки сприйняття до точки передачі. Під час проектування елементів їх матеріал повинен концентруватися навколо ліній передачі зусиль, що реалізує принцип концентрації матеріалу. На підставі всіх вищезазначених критеріїв, за узагальненим критерієм якості, з усіх можливих альтернатив має бути обрана найкраща, оптимальна форма [4]. Вибір здійснюється

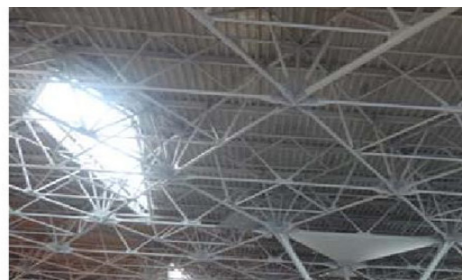


Рис. 1. Просторова конструкція

декількома шляхами – аналізом варіантів, коли послідовно перебирають можливі конструктивні рішення, або за допомогою чисельних методів оптимізації, які реалізуються із залученням комп'ютерних засобів [5; 12].

## МЕТА

Незважаючи на величезний обсяг досліджень у цій галузі, наявна потреба в додаткових дослідженнях і розрахунках конструкцій. Тому метою роботи є визначення раціонального типу покриття з урахуванням ефективності його роботи в різних конструктивних варіантах.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Просторові покриття складаються з багатьох елементів і мають повторювану стрижневу структуру. Елементи в таких конструкціях розташовуються за однаковими напрямками у просторі. Такі покриття являють собою систему об'ємних елементів, так званих структурних блоків. Залежно від навантаження, елементи сприймають його по-різному. Важливо підібрати раціональне конструктивне рішення окремого елемента покриття з максимально ефективним використанням властивостей матеріалу. Робота просторового покриття може змінитись у разі зміни положення стрижнів у його елементах.

Така зміна у площинах граней (рис. 2) призводить до зміни напружено-деформованого стану просторового покриття та його експлуатаційних можливостей.

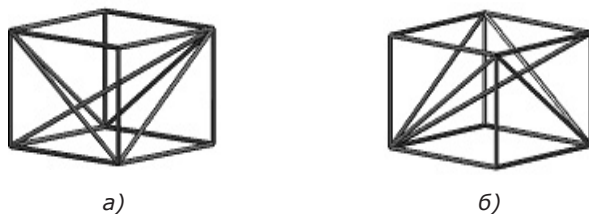


Рис. 2. Зміна положення розкосів в елементах покриття

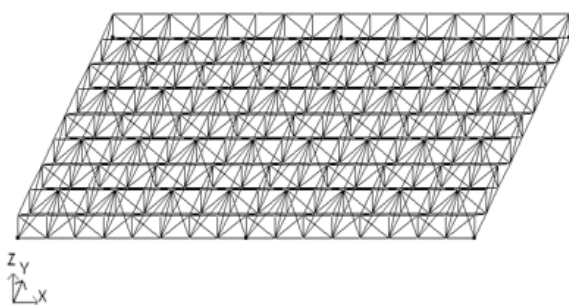
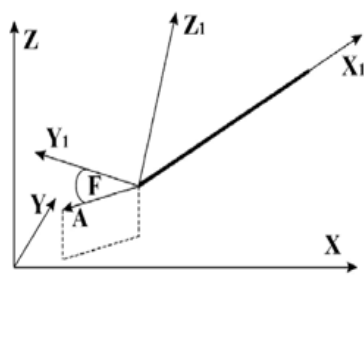


Рис. 3. Розташування KE і загальний вигляд просторового покриття

Розрахунки просторового стрижневого покриття виконувались із застосуванням програмного комплексу «ЛІРА». Побудована комп'ютерна модель з використанням просторового кінцевого елемента (далі – KE) (рис. 3).

Для забезпечення геометричної незмінності покриття були накладені в'язі в кутових вузлах і введені протилежні один одному контурні в'язі на середині покриття. Заборона також накладалась на переміщення в одному кутовому вузлі. Конструктивним елементам були задані жорсткісні характеристики та виконувався розрахунок просторової конструкції на навантаження від власної ваги.

Робота стрижневої конструкції оцінювалась за значенням зусиль і деформуванням покриття залежно від напрямів розташування стрижнів у його елементах. Установлено, що силові чинники відрізняються за величиною та знаком. Найбільші значення зусиль у покритті з елементів, що представлені на рис. 2, а), виникають у контурних опорних стійках у середині покриття. У центральних елементах конструкції покриття виявлені стрижні з максимальними значеннями зусиль. У середині поверхні зусилля, що виникають у стрижнях, розподіляються рівномірно. У стрижнях по контуру покриття більшість верхніх стрижнів стиснуті, а нижні – розтягнуті. Зміна положення розкосів в елементах просторового покриття (рис. 2, б)) привела до зменшення значень поздовжніх сил у багатьох стрижнях покриття. Значення максимальних зусиль у стрижнях просторового покриття, орієнтованих за різними напрямками по контуру та в серединній поверхні, у разі зміни положення стрижнів у його елементах, представлені в табл. 1.

Деформація форми покриття внаслідок переміщень вузлів показала, що в покритті з конструкційно зміненими елементами, порівняно з попередніми елементами, лінійні переміщення вузлів несуттєво збільшились, а кутові переміщення, особливо горизонтальні, – зменшились. Загалом, вертикальна

Таблиця 1

**Максимальні зусилля в елементах просторової конструкції  
за різних положень стрижнів**

Орієнтація стрижня	Положення стрижня в покритті	Максимальні зусилля N у стрижнях, т			
		Елемент рис. 2, а)		Елемент рис. 2, б)	
		Розтяг	Стиск	Розтяг	Стиск
Горизонтальна за віссю X	Контурний	7,45	-12,27	11,49	-5,16
Горизонтальна за віссю Y	Серединний	10,92	-8,64	10,18	-7,51
Вертикальна	Контурний	1,24	-13,83	1,43	-2,56
Похила за віссю X	Контурний	9,45	-5,63	6,62	-9,27
Похила за віссю Y	Серединний	6,82	-4,25	4,72	-4,84
Діагональна	Серединний	3,65	-5,17	2,38	-4,23

та горизонтальна деформація покриття в разі конструктивної зміни форми його елементів є більш прийнятною. Максимальну деформацію прогину має центральний верхній вузол. Максимальні переміщення зафіксовані в кутах і в середині покриття в контурних елементах.

## ВИСНОВКИ

Нині основні вимоги до металевих конструкцій – відповідність конструктивної форми функціональним, естетичним і експлуатаційним вимогам, забезпечення несучої здатності – міцності, стійкості та жорсткості, досягнення найменшої трудомісткості, скорочення термінів зведення, мінімальна вартість і адаптивність [15; 16]. Тому постає необхідність

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Білик А.С. Сталь в реконструкції будівель : монографія. Київ : ТОВ «Обнова компанії», 2018. 174 с.
- [2] Білик А.С., Білик С.І. Головні напрями сучасного розвитку металевих конструкцій будівель і споруд. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини. 2021. № 25. С. 5–12.
- [3] Білик А.С. Критерії вибору конструктивної форми і засобів при реконструкції будівель. *Проектант : збірник Академії будівництва України ; Асоціація проектних організацій*. 2016. № 21. С. 14–20. 2017. № 23. С. 10–15.
- [4] Білик А.С., Беляєв М.А. ВІМ-моделювання. Огляд можливостей та перспективи в Україні. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2015. № 2. С. 9–16.
- [5] Алгоритмічна оптимізація каркасів багатопверхових будівель за критерієм металоємності / А.С. Білик та ін. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2015. № 15. С. 103–111.
- [6] Білик А.С. Оптиміальний вибір конструкцій з дискретно змінною схемою навантаження. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2014. № 14. С. 70–78.

пошуку нових конструктивних рішень, що цілком відповідають поставленим завданням. Отже, завданнями дослідження є пошук оптимальних конструктивних форм просторових конструкцій [11].

Логічним наступним кроком розвитку сталевих конструкцій є створення систем одностадійного оптимального проектування. У них форма архітектурної оболонки, як характеристики внутрішнього каркаса та будівлі загалом, є результатом розрахунку з урахуванням великої кількості параметрів [4; 6]. Вибір архітектурної та конструктивної форми є єдиним результатом алгоритмічних оптимізаційних розрахунків з урахуванням моделювання життєвого циклу будівель [1; 7].

## REFERENCES

- [1] Bilyk, A.S. (2018). *Stal v rekonstruktsii budivel* [Steel in building reconstruction]. Kyiv : TOV "Obnova kompanii", 174. [in Ukrainian].
- [2] Bilyk, A.S., Bilyk, S.I. (2021). *Holovni napriamky suchasnoho rozvytku metalovykh konstruktsii budivel i sporud* [Main directions of modern development of metal structures of buildings and structures]. *Visnyk ODABA*. Suchasni budivelni konstruktsii z metalu ta derevyny, 25, 5–12 [in Ukrainian].
- [3] Bilyk, A.S. (2016; 2017). *Kryterii vyboru konstruktyvnoi formy i zasobiv pry rekonstruktsii budivel*. *Proektant : zbirnyk Akademii budivnytstva Ukrainy, Asotsiatsiia proektnykh orhanizatsii*, 21,14–20 ; 23, 10–15 [in Ukrainian].
- [4] Bilyk, A.S., Beliaiev, M.A. (2015). *VIM-modeliuvannia. Ohliad mozhlyvostei ta perspektyvy v Ukraini*. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*, 2, 9–16 [in Ukrainian].
- [5] Bilyk, A.S., Ternovyi, M.I., Khmelnytskyi, S.V. (2015). *Alhorytmichna optymizatsiia karkasiv bahatopoverkhovykh budivel za kryteriiem metaloiemnosti* [Algorithmic optimization of frames of multi-story buildings according to the criterion of metal capacity]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського instytutu stalevykh konstruktsii im. V.M. Shymanovskoho*, 15, 103–111 [in Ukrainian].
- [6] Bilyk, A.S. (2014). *Optymalnyi vybir konstruktsii z dyskretno zminnoiu skhemoiu navantazhennia* [The optimal choice of design with a discrete change in the load scheme]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського instytutu*

[7] Білик А.С. Проектування в сучасних умовах будівельного ринку України. *Проектант* : збірник Академії будівництва України ; Асоціація проектних організацій. 2016. № 20. С. 12–22.

[8] Металеві конструкції : підручник / О.О. Нілов та ін. Київ : Сталь, 2010. 832 с.

[9] Проектування раціональних комбінованих металевих конструкцій: підручник / В.О. Пермяков та ін. Львів, 2005. 180 с.

[10] Оптимальне проектування сталевих стержневих конструкцій : підручник / В.А. Пермяков та ін. Київ : Сталь, 2008. 538 с.

[11] Comparative Structure Cost of Modern Commercial Buildings / S.J. Hicks et al. *SCI P137*. 2004. 85 p.

[12] Khajehpour S., Grierson D.E. Profitability versus safety of high-rise office buildings. *Struct. Multidisc. Optim.* 2003. № 25. P. 279–293.

[13] Magdy I. Salama. Estimation of period of vibration for concrete moment-resisting frame buildings. *HBRC Journal*. 2015. Volume 11. Issue 1. № 4. P. 16–21.

[14] Lan T. Space Frame Structures. Chinese Academy of Building Research. China : CRC Press, 2005. 50 p.

[15] Rabun J. Stanley. Structural Analysis of Historic Buildings: Restoration, Preservation and Adaptive Reuse Applications for Architects and Engineers. Wiley & Sons, 2000. 500 p.

[16] Rabun J. Stanley, Richard Kelso. Building Evaluation for Adaptive Reuse and Preservation. Wiley, 2003. 232 p.

*stalevykh konstruksii im. V.M. Shymanovskoho*, 14, 70–78 [in Ukrainian].

[7] Bilyk, A.S. (2016). Proektuvannia v suchasnykh umovakh budivelnogo rynku Ukrainy [Designing in modern conditions of the construction market of Ukraine]. *Proektant* : zbirnyk Akademii budivnytstva Ukrainy ; Asotsiatsiia proektnykh orhanizatsii, 20, 12–22 [in Ukrainian].

[8] Nilov, O.O., Permiakov, V.A., Shymanovskiy O.V., ta in. (2010). Metalevi konstruksii [Metal structures]. Lviv : Stal [in Ukrainian].

[9] Permiakov, V.O., Hohol M.V., Peleshko, I.D., ta in (2005). Proektuvannia ratsionalnykh kombinovanykh metalevykh konstruksii [Design of rational combined metal structures]. Lviv [in Ukrainian].

[10] Permyakov, V.A., Perel'muter, A.V., Yurchenko, V.V. (2008). Optimal'noe proektirovanie stal'nykh stержnevyykh konstruksij [The optimal design of steel bar structures]. Kiev : Stal' [in Russian].

[11] Hicks, S.J., Lawson, R.M., Rackham, J.W., Fordham, P. (2004). Comparative Structure Cost of Modern Commercial Buildings: SCI P137, 85 [in English].

[12] Khajehpour, S., Grierson, D.E. (2003). Profitability versus safety of high-rise office buildings. *Struct. Multidisc. Optim.*, 25, 279–293 [in English].

[13] Magdy, Salama, I. (2015). Estimation of period of vibration for concrete moment-resisting frame buildings. *HBRC Journal*, Volume 11, Issue 1, 4, 16–21 [in English].

[14] Lan, T. (2005). Space Frame Structures. Chinese Academy of Building Research. China : CRC Press, 50.

[15] Stanley Rabun, J. (2000). Structural Analysis of Historic Buildings: Restoration, Preservation and Adaptive Reuse Applications for Architects and Engineers. Wiley & Sons, 500.

[16] Stanley Rabun, J., Kelso, Richard (2003). Building Evaluation for Adaptive Reuse and Preservation. Wiley, 232.

## ABSTRACT

### **Mashkov I., Skrebnieva S., Baranetska D., Hlushanytsia A. Analysis of the efficiency of the spatial covering elements.**

*The article deals with the problem of choosing the structural form of the building covering to effectively ensure the performance of its functions. The main criteria when choosing a form: functionality and structural reliability. Coatings are a system of volumetric elements, so-called structural blocks. The operation of the spatial coating may change if the position of the rods in its elements changes. A selective analysis of the design solutions of individual coating elements was carried out, taking into account the effective operation of the coating components. **Purpose.** Determination of the rational type of coating taking into account the efficiency of its operation in various constructive options. **Methodology.** The choice of the form of the covering is carried out with the help of numerical optimization methods, which are implemented with the involvement of computer tools by choosing rational constructive solutions of individual elements of the covering with the most effective use of their components. **Results.** The operation of the rod structure was evaluated by the value of forces and deformation of the coating depending on the directions of the location of the rods in its elements. Force factors and deformations change their values and signs. The rods with the maximum values of forces are detected. The assessment of the deformation of the shape of the coating due to the structural change of the constituent elements is given. **Scientific novelty.** With regard to the proposed system options, the shortest path from the points of perception of external force actions to the points of their transmission in the structure was analyzed. The choice of a rational form is*

carried out by analyzing the change in the stress-strain state of the spatial covering.  
**Practical relevance.** The main requirements for metal structures are compliance of the structural form with functional, aesthetic and operational characteristics. Research can bring benefits, because when designing specific objects, there is a need to find new constructive solutions that meet the tasks set for the spatial structure, taking into account the specifics of its work.

Key words: metal structures, spatial coverings, constructive solutions, strength, stability, rigidity, covering elements, rod structure, effort, deformations.

#### AUTHOR'S NOTE:

**Mashkov Ihor**, Senior lecturer of the Department of Computer Technologies of Airport Construction and Reconstruction of National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: iigor61@ukr.net, orcid: 0000-0001-5582-5059

**Skrebnieva Svitlana**, Ph. D. of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Technologies of Airport Construction and Reconstruction of National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: svetaskreb@ukr.net, orcid: 0000-0003-4082-5181

**Baranetska Dariia**, Ph. D. of Technical Sciences, Assistant of the Department of Computer Technologies of Construction and Reconstruction of airports of National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: bardariias@gmail.com, orcid: 0000-0002-5698-1050

**Hlushanytsia Anna**, Ph. D. of Technical Sciences, Assistant of the Department of Computer technologies of Construction and Reconstruction of airports of National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ah15082504@gmail.com, orcid: 0009-0007-2083-3279

Стаття подана до редакції 27.04.2023 р.