

УДК 624.014 (688.775.3)

д.т.н, професор Білик С.І.,  
vartist@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8783-5892,  
Бут М.О., max.booth@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2723-2891,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ПОШУК РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ СТІЙОК КОНСОЛЬНОГО КОЛЕСА ОГЛЯДУ, ЗА СИЛОВИМ КРИТЕРІЄМ

*Розроблено алгоритм пошуку раціонального розташування опорних стійок, для консольного сталевого колеса огляду, в діапазоні дискретних значень. В межах конструктивних обмежень, з точки зору напружень, що виникають в елементах.*

*Ключові слова: Excel, колеса огляду, розрахунок.*

**Постановка проблеми.** При проектуванні консольних коліс огляду, необхідно виходити з парадигми, що основним елементом атракціону завжди буде вал, навколо якого буде йти обертання. При жорсткій схемі закріплення консолі паралельно до землі, раціональним є влаштування опор під напрямій валу, для зменшення зусиль в вузлі кріплення та консольній частині. При цьому розмір чистої консолі прийемо з умови закріплення рухомої частини рівним 2м, кут нахилу опор до валу прийемо від  $90^\circ$  і до площини нерухомої опори. Кут нахилу опор в площині, перпендикулярній до осі валу, прийемо таким, що не перевищує  $45^\circ$ . Опори прийемо симетричними відносно осі валу.

За критерій ефективності прийемо мінімальний діапазон напружень в елементах направляючої валу та опорах.

В якості методу пошуку раціонального рішення прийемо знаходження множини значень і екстраполюємо її збіжності. Для вірного тлумачення результатів використаємо вимоги діючих нормативних документів щодо складного НДС з урахуванням проблеми стійкості елементів опор.

### **Опис об'єкту дослідження**

Конструкція опор консольного колеса огляду сприймає статичні та динамічні навантаження через напрямну валу та через стійки опор. Оскільки вісь атракціону розташована горизонтально, а нормальні напруження найкраще сприймати без ексцентриситету, то положення напрямної валу є статичним. Отже раціональне рішення щодо сприйняття зовнішніх навантажень треба вишукувати з точки зору розташування стійок.

Одразу окреслимо область визначення можливих проектних рішень та фізичні границі області визначення:

- Кількість стійок приймаємо рівною двом;

- Стійкі встановлюються симетрично щодо осі напрямної валу, оскільки всі навантаження, крім гравітаційних, що діють на колесо огляду, є знакозмінними;
- Стійки закріплюються шарнірно до плити перекриття;
- Стійки закріплюються шарнірно до головного вузла колеса огляду - вузла лафети;
- Стійки працюють окремо одна від одної, відповідно необхідно, щоб не допустити колізій, прийняти мінімальний кут між стійками рівний  $9^\circ$ ;
- Максимальний кут нахилу стійок між собою приймемо рівним  $39^\circ$ ;
- В другому напрямку стійки розміщуються в межах від площини нормальної до осі напрямної валу, до фізичних меж — місця закріплення напрямної валу (наприклад, у вигляді діафрагми жорсткості будівлі).

Таким чином маємо змінні, в вигляді кутів нахилу,  $\varphi$  та  $\beta$  з межами визначення ( $1^\circ; 21^\circ$ ) та ( $9^\circ; 39^\circ$ ) відповідно.

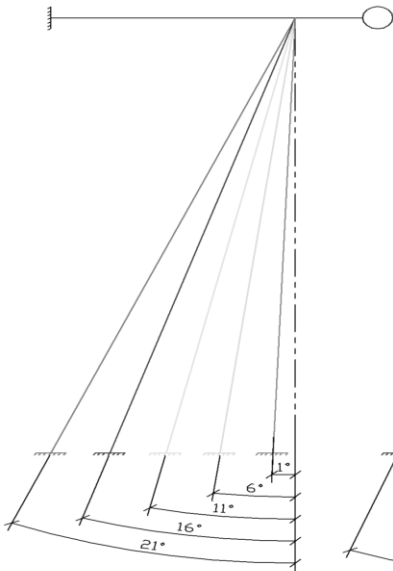


Рис. 1. Проекція кута  $\varphi$  на площину  $XOY$   $\varphi \in (1^\circ; 21^\circ)$

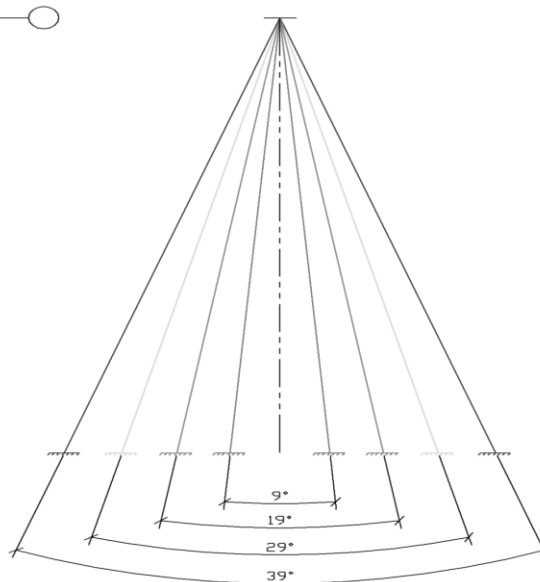


Рис. 2. Проекція кута  $\beta$  на площину  $ZOY$   $\beta \in (9^\circ; 39^\circ)$

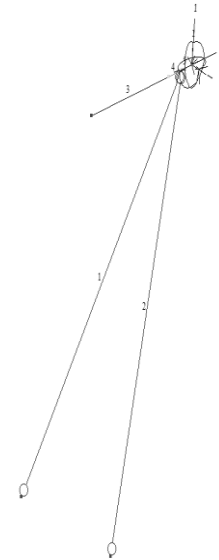


Рис. 3. Узагальнена розрахункова схема стійок

### Методика дослідження:

Враховуючи різноманіття можливої дії на статичну частину колеса огляду, було розглянуто 25 варіантів розташування опор (з рівномірним кроком в межах визначення), які біло завантажено одиничними силами на обрізі барабану колеса огляду. Жорсткість елементів прийнято у відповідності до [7]. Схеми розраховувались в ПК «Ліра САПР»

Для аналізу отриманих результатів, було розроблено алгоритм, що базується на табличному методі в MS Excel, що автоматизував аналіз результатів розрахунку для пошуку раціонального розташування опорних стійок та дозволив проаналізувати напруження від дискретних значень

навантажень для заданих характеристик матеріалу та відповідних трубчатих перерізів. Узагальнена блок-схема програми представлена на Рис. 4

Приведені напруження знаходились за формулою Мізеса-Губера, виходячи з наступних значень нормальних та дотичних напружень

$$\sigma_x = \frac{N}{A \cdot \varphi} \pm \frac{M_z}{W_z} \pm \frac{M_y}{W_y}$$

При розтягу  $\varphi=1$

$$\tau_{zy} = \frac{M_k}{W_k} \pm \frac{Q_z}{A} \pm \frac{Q_y}{A}; \quad \sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{zy}^2}$$

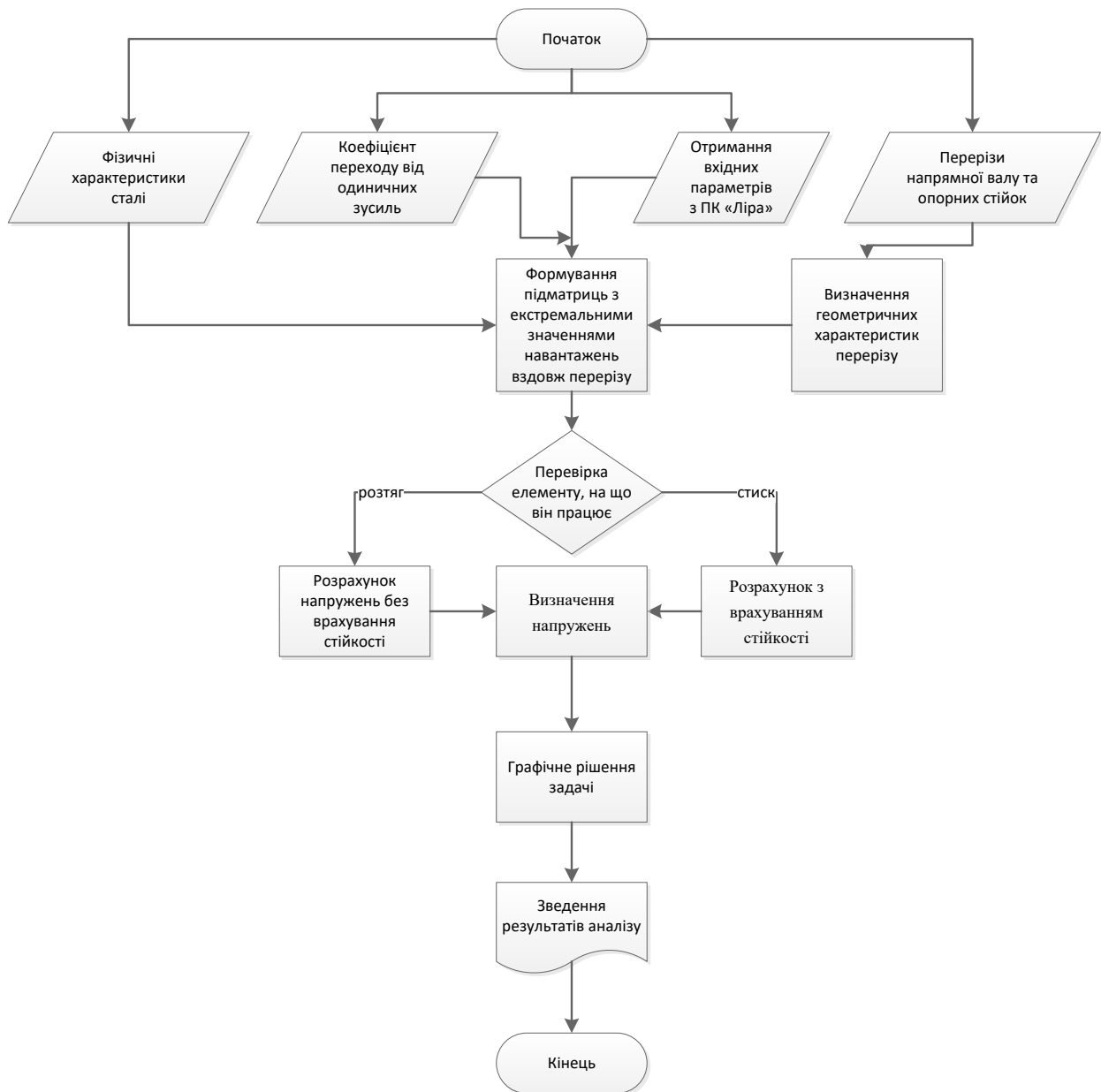


Рис. 4. Блок-схема алгоритму.

### Виклад основного матеріалу дослідження

На першому етапі дослідження було проведено аналіз роботи конструкції від одиничних зусиль  $F = (N \ Q_y \ Q_z \ M_k \ M_x \ M_y)^T$ , і побудовано поліноми інтенсивності напружень в опорних стійках та направній валу відповідно. В якості критерію порівняння було використано коефіцієнт запасу. В таблиці нижче наведено ступінь впливу зусиль на конструкцію загалом.

Таблиця 1

Вплив типу зусилля на систему

Зусилля	Відсоток впливу <sup>2</sup>	При кутах	
		$\beta$	$\phi$
$Q_y(\tau)$	25%	39	1
$M_z(\tau \cdot m)$	23%	39	1
$Q_z(\tau)$	20%	19	1
$M_k(\tau \cdot m)$	17%	9	21
$N(\tau)$	10%	19	1
$M_y(\tau \cdot m)$	4%	39	6

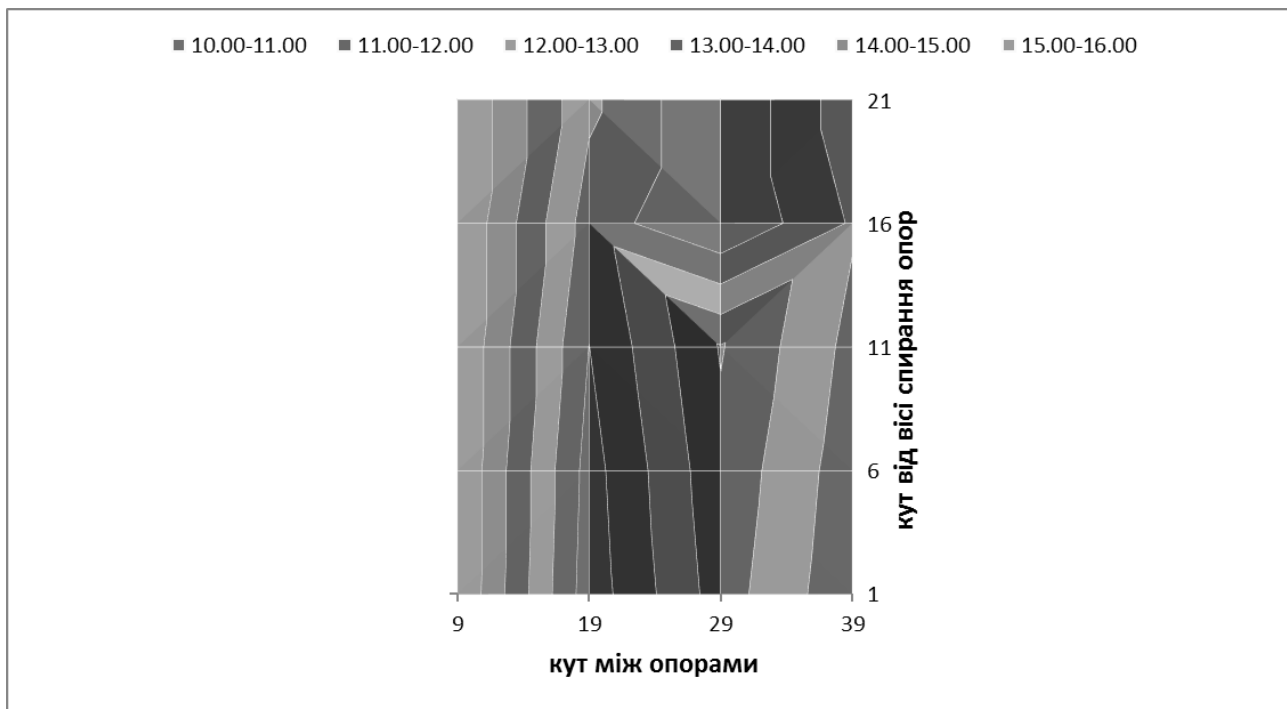


Рис. 5. Поліном раціонального розміщення опор, з точки зору впливу на конструкцію

Аналіз за максимальними розрахунковими сполученнями зусиль (максимальні наведені в табл. 2), що виникають в конструкції згідно [8] за наведеним алгоритмом, дозволяє оцінити вплив на напрямну валу та опорні стійки та побудувати поліноми з раціональним розташуванням опор.

Таблиця 2.

Зведена таблиця з найгіршими значеннями РСЗ у валу

№	№ елемента	Сполучення РСЗ	N (кН)	Mк (кН*м)	My (кН*м)	Qz (кН)	Mz (кН*м)	Qy (кН)
1	976	1+2+3+8+12	59.248	- 82.652	0.000	30.788	- 32.097	- 23.000
2	976	1+2	68.143	- 95.038	0.000	- 2.349	- 0.004	0.000
3	976	1+2+3+7+8	121.67	0.00	0.01	0.03	-28.62	24.24
4	976	1+2+3+9+10+13	104.67	0.18	-0.27	-0.46	-27.73	23.53

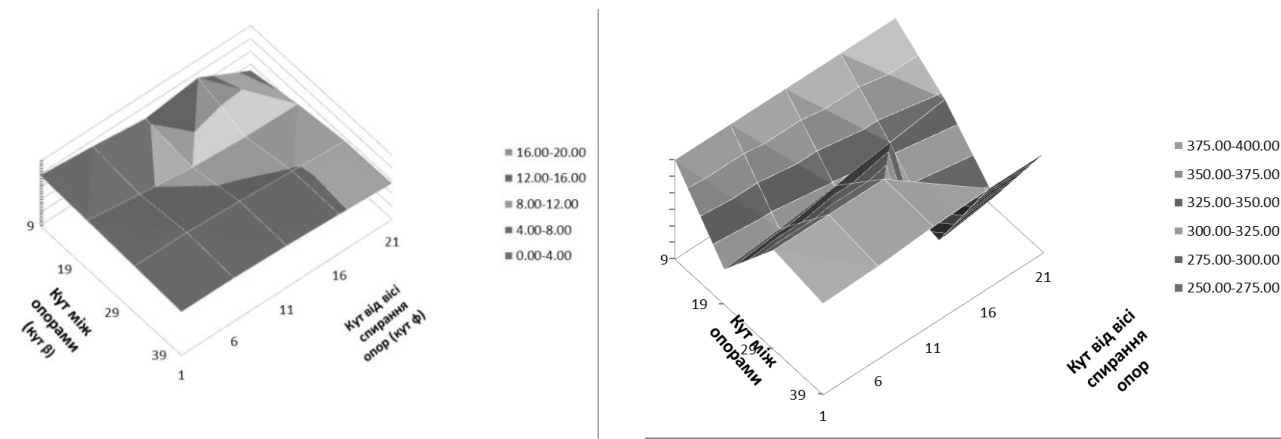


Рис. 6. Поліноми розподілу напружень в напрямній вілу та стійках опори від сполучення 1.

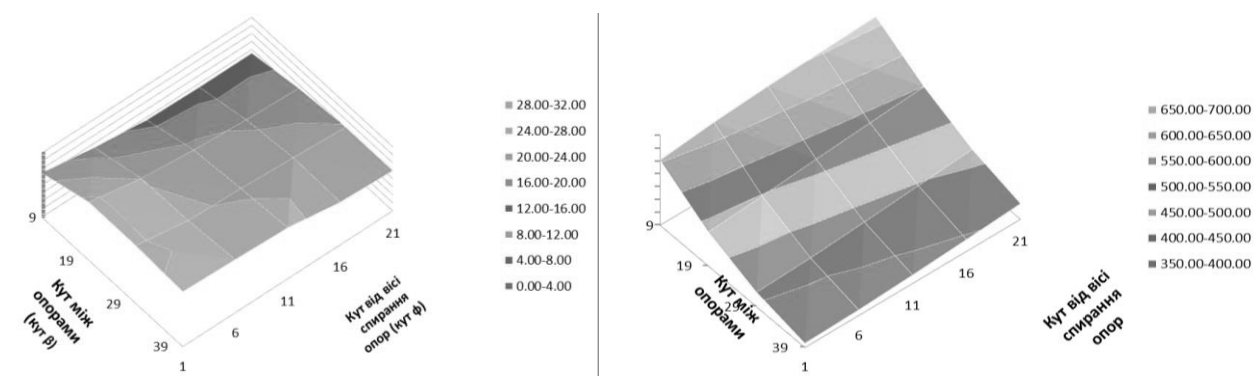


Рис. 7. Поліноми розподілу напружень в напрямній вілу та стійках опори від сполучення 2.

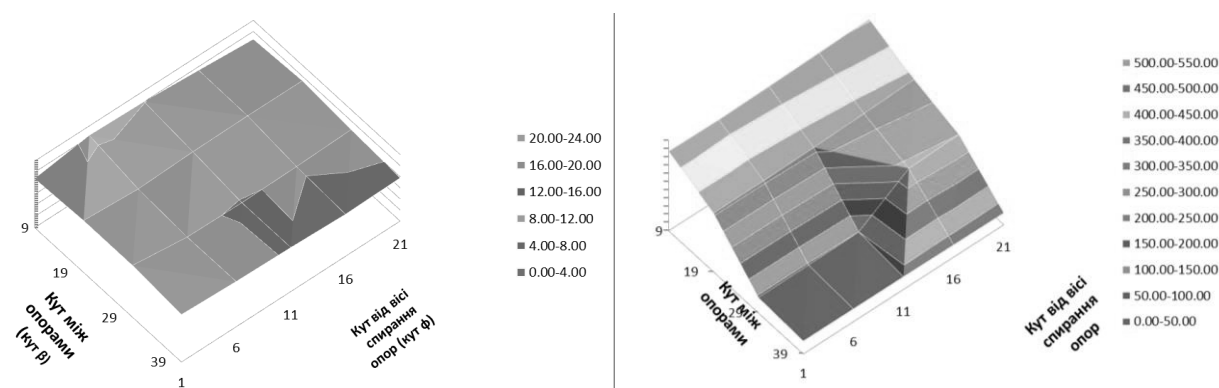


Рис. 8. Поліноми розподілу напружень в напрямній вілу та стійках опори від сполучення 3.

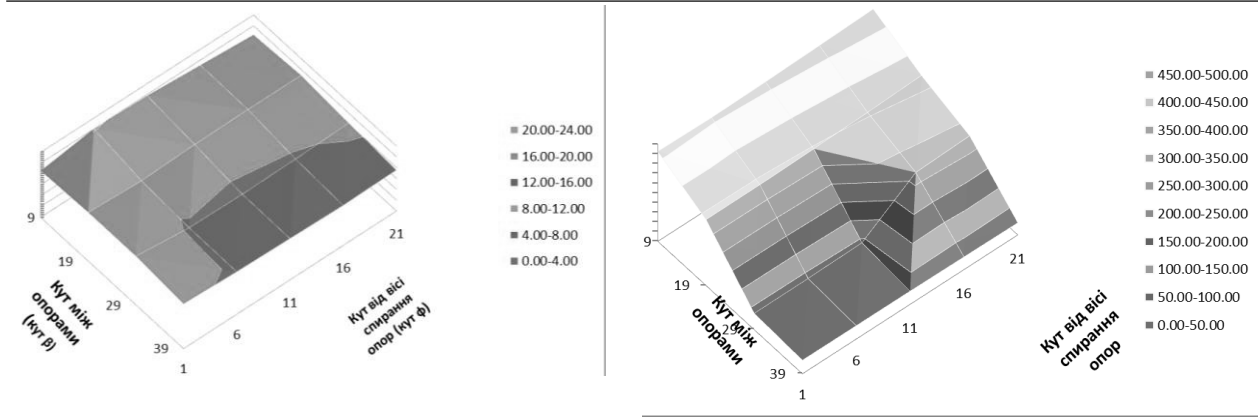


Рис. 9. Поліноми розподілу напружень в напрямній вілі та стійках опори від сполучення 4.

### Висновки

Результати розрахунку вказують, що з точки зору розподілу напружень раціональна область визначена в межах квадранту  $\beta \in (19;29)$ ;  $\varphi \in (11;16)$ . При реальних найбільших сполученнях навантажень дана тенденція залишається актуальною.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-198-2014 Конструкції будівель і споруд сталеві. Норми проектування. - К: Мінрегіон України, 2014 – 199 с.
2. Білик А.С., Бут М.О., Атракціон у висотній будівлі технологічного університету м. Батумі. / Білик А.С., Бут М.О. // Промислове та цивільне будівництво//Науково-виробничий журнал. – К.: ТОВ «Друкарня «Літера», 1'2013. - С. 37-42.
3. Билик А.С., Бут М.А., Колесо обозрения, закрепленное в высотном здании/ Билик А.С., Бут М.А. //Актуальные проблемы современного строительства и пути их эффективного решения : материалы Международной научно-практической конференции, 10-12 октября 2012г., - Санкт-Петербург. - Ч. 1. - С. 52-57.
4. Билик С.І., Бут М.О., Шпинда В.З., Аналіз розрахунку болтів фланцевого з'єднання в умовах складного напружено - деформованого стану / Билик С. І., Бут М.О., Шпинда В.З. // Зб. наук. праць УНДПСК ім. В. М. Шимановського. – К. : Вид-во “Сталь”, 2014. – Вип. 4. – С. 76–84.
5. Білик С.І, Бут М.О., Вплив початкових параметрів масштабності розрахункової моделі на напружено-деформований стан, на прикладі консольного колеса огляду/ С.І. Білик, М.О. Бут // : Зб. наук. праць ПолтНТУ ім Ю.Кандратюка, серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 1(43). - С.147-153.
6. Білик С.І., Бут М.О. Визначення найбільш відповідального елемента системи консольного сталевих колеса огляду/ Білик С. І., Бут М.А. //

Міжвідомчий науково-технічний збірник Будівельне виробництво №62/1/21017. – Київ: ДП «НДІБВ», 2017. - С.79-82.

7. Бут М.О. Аналіз впливу еволюції розрахункової моделі на визначення напружено-деформованого стану/ Бут М.О. // Містобудування та територіальне планування, вип. № 55. –К.: КНУБА, 2015. - С.81-87.

8. Расчёт коолеса обозрения, закреплённого в высотном здании [Текст]: отчёт НИР Билык А.С., Бут М.А. — К.: НИЧП «Вартість», 2012 – 78с. – Библиогр. - С. 77-78. – Инв. №75.

9. Bilyk Sergiy, Tonkacheiev Vitaliy, Determining sloped-load limits inside von Mises truss with elastic support. *Materiali in tehnologije.*, Ljubljana, Slovenija 52 (2018), 105-109, doi:10.17222/mit.2016.083.

10. S. Bilyk Determination of critical load of elastic steel column based on experimental data // Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія. міжнар. наук.-вироб. журн. К., КНУБА, Вип.04/2016. - С.89-96.

11. Білик С.І. Стійкість двострижневих ферм з урахуванням пружної жорсткості гребеневого вузла / С.І. Білик // Зб. наук. пр. Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. Вип. 16. – К. : Вид-во «Сталь», 2015. – С. 13-21.

12. Білик С.І. Теоретичне порівняння фактора стійкості і коефіцієнта поздовжнього згину центрально-стиснутих сталевих колон з урахуванням початкових деформацій та вигинів / С.І. Білик // Зб. наук. пр. Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. Вип. 15. – К. : Вид-во «Сталь», 2015. – С. 48-61.

13. Білик С.І., Лавріненко Л.І., Нужний В.В., Шупик А.В., Котвицький Б.М. Порівняння вимог до місцевої стійкості полиць і стінок двотаврових перерізів балок при згині за ДБН В.2.6-198-2014 і Єврокодом 3 (ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010) // Містобудування та територіальне планування. Випуск 62, ч.1. – К.: КНУБА, 2016. – С. 66-76.

14. Білик С.І., Білик А.С., Ключниченко Т.А., Джанов Л.В. Визначення коефіцієнта розрахункової довжини стержня шарнірно закріпленого в нижній частині // Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. праць, вип. 2. – К.: КНУБА, 2018. - С. 162-169.

д.т.н, професор Билык С.И., Бут М.А.,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## **ПОШУК РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ СТІЙОК КОНСОЛЬНОГО КОЛЕСА ОГЛЯДУ, ЗА СИЛОВИМ КРИТЕРІЄМ**

Разработан алгоритм поиска рационального расположения опорных стоек, для консольного колеса обозрения, в диапазоне дискретных значений, в пределах конструктивных ограничений, с точки зрения возникающих напряжений в элементах конструкции.

Ключевые слова: Excel, колеса обозрения, расчёт.

Dr. Sci., Professor Bilik S.I., But M.O.,  
Kiev National University of Civil Engineering and Architecture

## **THE SEARCH FOR A RATIONAL ARRANGEMENT OF THE RACKS OF THE CONSOLE FERRIS WHEEL, ACCORDING TO THE FORCE CRITERION**

An algorithm for finding the rational location of the support racks for the console ferris wheel is developed, within the range of discrete values, within the design constraints, from the point of view of the arising stresses in the structural elements.

Keywords: Excel, Ferris wheel, calculation.