

## ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ ВУЗЛІВ МЕТАЛЕВОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО СТЕРЖНЕВОГО ПОКРИТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ РОЗКЛАДАННЯ НА ПЛОСКІ ГРАНІ І ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ SCAD

О. І. Сіянов, С. В. Риндюк

*Визначені переміщення вузлів і характерні закономірності деформування циліндричного стержневого покриття від прикладеного експлуатаційного навантаження за допомогою методу розкладання на плоскі грані і засобів обчислювального комплексу SCAD.*

*Отримано характерні закономірності переміщень вузлів з використанням засобів обчислювального комплексу SCAD і методу розкладання на плоскі грані*

*Определены перемещения узлов и характерные закономерности деформирования цилиндрического стержневого покрытия от приложенной эксплуатационной нагрузки с помощью метода разложения на плоские грани и средств вычислительного комплекса SCAD.*

*Получены характерные закономерности перемещений узлов с использованием средств вычислительного комплекса SCAD и метода разложения на плоские грани*

*Moving of knots and characteristic conformities to law of deformation of the cylindrical core covering is certain from the attached operating loading by means of method of decomposition on flat verges and facilities of calculable complex SCAD.*

*Try typical patterns of movement of nodes with the use of computing complex SCAD and decomposition method for flat edge*

### Аналіз стану питання

Деформування металевих циліндричних стержневих покриттів і процеси, пов'язані з ним від дії експлуатаційного навантаження, завжди викликали поглиблений інтерес механіків і конструкторів [1–3]. Внаслідок уразливості окремих ділянок в покритті виникають великі переміщення вузлів, що є небезпекою втрати несучої здатності, викликану недостатньою стійкістю в напрямку нормалі до поверхні покриття [4–8]. Місця появи найбільших переміщень вузлів залежать від ряду факторів, серед яких довжина, ширина і стріла підйому покриття та їх співвідношення, а також густина і топологія сітки, характеристики жорсткості стержнів та схеми закріплення в опорних вузлах [9–11].

В даний час розроблені і широко використовуються аналітичні методи розрахунку складних систем, які є придатними для циліндричних стержневих покриттів. Серед відомих методів вдало зарекомендував себе метод розкладання на плоскі грані з визначенням зусиль в стержнях і шляхом подальших перетворень отримання залежностей для визначення переміщень вузлів [12–14]. Метод оснований на теорії формоутворення і є досить зручним для використання. Його можна застосовувати при варіантному проектуванні і під час розрахунку окремих ділянок покриття. Основною перевагою даного методу є швидкість визначення потрібного параметра без розрахунку всього покриття. Разом з тим сьогодні більшість аналітичних методів переведені на мови програмування, які використовують для розрахунку складних систем, у тому числі циліндричних стержневих покриттів. Сучасний обчислювальний комплекс SCAD [15], який широко використовується в нашій країні для розрахунку подібних конструкцій, реалізовує метод скінченних елементів в переміщеннях.

### Мета роботи

Враховуючи наявність указаних факторів, метою роботи є оцінювання доцільності використання зазначених підходів у встановленні інформативності, закономірностей і порівняння переміщень вузлів, отриманих указаними методами розрахунку металевих циліндричних стержневих покриттів.

### Геометричні і фізичні параметри

За основу прийнято раціональний варіант конструктивного рішення покриття, суть якого полягає у використанні сітки з поздовжніми і поперечними ребрами, розташованими з однаковим кроком та з низхідними розкосами [13]. В результаті покриття утворене чарунками квадратної форми з діагональним стержнем всередині. Кількість чарунок в обох напрямках однакова парна і дорівнює 8. Габаритні розміри покриття в плані згідно з орієнтацією на використання раціональних безшовних гарячекатаних профілів з обмеженням по діаметру стержнів прийнято  $B \times L = 24 \times 30$  м. Стріла підйому  $f = 6,93$  м отримана з урахуванням кута описаного кола  $\alpha = 120^\circ$  поперечного перерізу покриття. Загальна кількість стержнів, виготовлених із сталі С245 і розташованих на сітчастій поверхні уявного циліндра, 208. Число вузлів, у тому числі опорних, 81. Кут нахилу розкосів до поздовжніх ребер  $\varphi = 43,97^\circ$ . Покриття шарнірно закріплене по контуру і за статичною схемою вирішено в безрозпірному варіанті. Рівномірно розподілене експлуатаційне навантаження визначене з урахуванням геометричної незмінності розрахункової моделі на підставі даних, отриманих за найбільш небезпечних схем і комбінацій впливів на покриття та переведене через вантажні площі в зосереджені вузлові сили.

### Розрахункові положення і отримані результати

Згідно з аналітичним методом розрахунку для визначення переміщень  $\Delta$  вузлів металевого циліндричного стержневого покриття потрібно використати формотворні параметри  $m, n, \alpha, \beta, \varphi, l$ ; параметри місцезнаходження вузла  $j, k$  та параметри, що характеризують матеріал  $R_y, E$  [14]

$$\Delta = f(m, n, \alpha, \beta, \varphi, l, j, k, R_y, E). \quad (1)$$

Визначальний вплив на переміщення вузлів за даним методом розрахунку спричиняє кількість граней  $m$ , число панелей  $n$  (відстань між вузлами уздовж довжини покриття), кут  $\alpha$  описаного кола покриття, розподілений кут  $\beta = \alpha/2m$ , кут  $\varphi$  нахилу розкосів до поздовжніх ребер, довжина стержня  $l$  поздовжнього ребра в межах чарунки. Розрахунковий опір  $R_y$  і модуль  $E$  пружності сталі стержнів впливали на переміщення вузлів лише зі зміною матеріалу.

Розрахункова формула для визначення вертикальних переміщень вузлів має вигляд

$$\Delta_{kj\downarrow} = \frac{R_y l}{E \sin 2\varphi \sin 2\beta} \left\{ \left[ 2(2j-1) + (j-3)j \cos^2 \varphi \right] \cos(m-2k+1)\beta - \right. \\ \left. - (j-1) \left[ 4 + (j-2) \cos^2 \varphi \right] \cos(m-2k+3)\beta \right\}. \quad (2)$$

Горизонтальні переміщення вузлів визначались аналогічно, тільки замість  $\cos(m-2k+1)\beta$ ,  $\cos(m-2k+3)\beta$  записувалось  $\sin(m-2k+1)\beta$ ,  $\sin(m-2k+3)\beta$ , тобто

$$\Delta_{kj\rightarrow} = \frac{R_y l}{E \sin 2\varphi \sin 2\beta} \left\{ \left[ 2(2j-1) + (j-3)j \cos^2 \varphi \right] \sin(m-2k+1)\beta - \right. \\ \left. - (j-1) \left[ 4 + (j-2) \cos^2 \varphi \right] \sin(m-2k+3)\beta \right\}. \quad (3)$$

Використовуючи програмні засоби SCAD, спочатку будувалась комп'ютерна модель металевого циліндричного стержневого покриття з урахуванням заданої топології сітки і скінченних елементів стержневого типу. Геометрична незмінність покриття забезпечувалась відповідними закріпленнями контурних опорних вузлів, реалізованих в розрахунковій моделі у вигляді зв'язків. Використовуючи базові типи перерізів, попередньо задавались характеристики жорсткості для безшовних гарячекатаних трубчастих стержнів, на підставі чого автоматично розраховувалась власна вага покриття. До вузлів прикладались зосереджені сили, які обчислювались шляхом визначення експлуатаційного рівномірно розподіленого навантаження з урахуванням вантажних площ.

Параметри розрахунку переміщень характерних вузлів наведені в табл. 1.

Отримані результати розрахунку показали (табл. 1), що метод розкладання на плоскі грані виявив однакове місцезнаходження, але перевищення максимальних переміщень вузлів на 20 % і 16 % порівняно з розрахунком програмними засобами SCAD. Різниця в місцезнаходженні переміщень вузлів за двома методами не виявлено. Спостерігалось зменшення в розбіжностях переміщень вузлів ближче до середини покриття.

Таблиця 1

**Максимальні переміщення вузлів покриття в горизонтальному і вертикальному напрямках**

Напрямок переміщення вузлів	Максимальні переміщення вузлів, [мм] за методом	
	розкладання на плоскі грані	розрахунку програмними засобами SCAD
вертикальний ↓	4,82	3,86
горизонтальний →	2,68	2,25

Схематично основні етапи для визначення переміщень вузлів, отриманих за двома методами, подано у вигляді схеми, наведеної на рис. 1.



Рис. 1. Структурно-логічна схема реалізації процесу обчислення переміщень вузлів металевого циліндричного стержневого покриття, визначених за методом розкладання на плоскі грані і шляхом комп'ютерного розрахунку програмними засобами SCAD

Із структурно-логічної схеми (рис. 1) видно, що за кількістю операцій раціональним є метод визначення переміщень вузлів, який дозволяє використати окремо взяті формули розрахунку. Однак за обсягом і наочністю отриманих результатів, тобто за інформативністю комп'ютерний метод розрахунку виявився більш прийнятним, оскільки дозволив подати лінійні і кутові переміщення всіх вузлів в табличній формі та з кольоровими мозаїками переміщень вузлів і схемами деформування.

**Висновки**

- Розраховано переміщення вузлів металевого циліндричного стержневого покриття за допомогою методу розкладання на плоскі грані і шляхом використання програмних засобів SCAD.

- Оцінено доцільність використання кожного із розглянутих методів залежно від умов поставленої задачі.
- Установлено прийнятну інформативність методу комп'ютерного розрахунку програмними засобами SCAD, що проаналізовано за обсягами і наочністю одержаних результатів.
- Отримано характерні закономірності переміщень вузлів, у тому числі максимальних за вертикальним і горизонтальним напрямками з використанням засобів обчислювального комплексу SCAD і методу розкладання на плоскі грані.

#### Використана література

1. Линд Н. К. Критерий устойчивости сетчатых оболочек / Линд Н. К. – Л. : Стройиздат, 1966. – 12 с.
2. Пшеничников Г. И. Расчет сетчатых цилиндрических оболочек / Пшеничников Г. И. – М. : Изд-во Акад. Наук СССР, 1961. – 112 с.
3. Попов И. Г. Цилиндрические стержневые системы / Попов И. Г. – Л. ; М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. – 112 с.
4. Свердлов В. Д. Проблема стійкості одношарових циліндричних стержневих покриттів / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов, О. Д. Бойчук // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. трудов. – Одесса : ОГАСА, 1999. – С. 169–174.
5. Лебедев В. А. Сетчатые оболочки в гражданском строительстве на севере / В. А. Лебедев, Л. Н. Лубо. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 136 с.
6. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа – сетчатых оболочек [сост. Л. Лубо, науч. ред. С. Верижников, ред. Э. Любченко] / ЛенЗНИИЭП. – Л., 1971. – 63 с.
7. Райт Д. Т. Большие сетчатые оболочки / Райт Д. Т. – Л. : Стройиздат, 1966. – 11 с.
8. Гоцуляк Є. О. Загальна стійкість одношарових циліндричних стержневих покриттів / Є. О. Гоцуляк, О. І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 1. – С. 13–18.
9. Сіянов О. І. Стан справ і напрямки досліджень у вирішенні проблеми стійкості одношарових циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов // Современные строительные конструкции из металла и древесины : Сб. науч. тр. – Одесса : ОГАСА, 2005. – С. 185–190.
10. Сіянов О. І. Визначення граничних параметрів циліндричних стержневих покриттів за умови втрати стійкості / О. І. Сіянов // Современные строительные конструкции из металла и древесины : Сб. науч. тр. – Одесса : ОГАСА, 2010. – С. 224–229.
11. Сіянов О. І. Металеві одношарові циліндричні стержневі покриття : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Сіянов Олександр Ілліч; ВАТ «УкрНДПроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського». – Київ, 2002. – 19 с.
12. Свердлов Владимир Деонисович. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Свердлов Владимир Деонисович. – Киев, 1977. – 174 с. – Библиогр. : С. 153–161.
13. Свердлов В. Д. Металеві циліндричні стержневі покриття : монографія / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. – 134 с.
14. Сіянов О. І. Визначення вузлових переміщень в конструкціях просторових циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов, В. Д. Свердлов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : збірник наук. праць. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 25–33.
15. Карпиловский В. С. Вычислительный комплекс SCAD / В. С. Карпиловский и др. – М. : Издательство “СКАД СОФТ”, 2009. – 656 с.

**Сіянов Олександр Ілліч** – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету

**Риндюк Світлана Володимирівна** – аспірант Вінницького національного технічного університету