

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.074.5

ФОРМОУТВОРЕННЯ КРУГОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ СІТЧАСТИХ ОБОЛОНОК

О. І. Сіянов, В. Ф. Асюченко, Ю. В. Августінович

Визначено формотворні параметри побудови кругових циліндричних сітчастих оболонок. Забезпечено врахування раціональних співвідношень габаритних розмірів конструкцій за напрямком дуги кола. Уточнено принципи створення геометричних схем характерних фрагментів розглянутих поверхонь. Запропоновано використання симетричних чарунок у вигляді квадрата з діагональним елементом всередині. Проаналізовано регулярність сітчастої конструкції. Визначено число повторюваних типів вузлів і кількість їх елементів. Наведено приклад і порядок визначення параметрів та співвідношень від ділянки гребеня до опорних граней. Отримано числові значення тригонометричних функцій і необхідних кутів розташування елементів.

Ключові слова: кругові циліндричні оболонки, сітчасті конструкції, поверхні обертання, формоутворення, параметри, співвідношення.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК

А. И. Сиянов, В. Ф. Асюченко, Ю. В. Августинovich

Определены формообразующие параметры построения круговых цилиндрических сетчатых оболочек. Обеспечен учет рациональных соотношений габаритных размеров конструкций по направлению дуги окружности. Уточнены принципы создания геометрических схем характерных фрагментов рассмотренных поверхностей. Предложено использование симметричных ячеек в виде квадрата с диагональным элементом внутри. Проанализирована регулярность сетчатой конструкции. Определено число повторяемых типов узлов и количество их элементов. Приведен пример и порядок определения параметров и соотношений от участка конька к опорным граням. Получены числовые значения тригонометрических функций и необходимых углов расположения элементов.

Ключевые слова: круговые цилиндрические оболочки, сетчатые конструкции, поверхности вращения, формообразование, параметры, соотношения.

THE FORM CREATION OF CIRCULAR CYLINDRICAL RETICULATED SHELLS

O. Siyanov, V. Asuchenko, Y. Avgustinovich

The form creation parameters of construction of the circular cylindrical reticulated shells are determined. The take into account of rational correlations of overall sizes of constructions is provided to direction of arc of circumference. Principles of creation of geometrical schemes of characteristic fragments of considered surfaces are précised. The use of symmetric cells as a square with a diagonal element inwardly is offered. Regularity of the reticulated construction is analysed. The number of the repeated types of knots and amount of their elements is determined. An example and algorithm of determination of parameters and correlations from the area of height to the supporting verges is shown. The numerical meanings of trigonometric functions and necessary corners of location of elements are got.

Keywords: circular cylindrical shells, reticulated constructions, surfaces of rotation, the form creation, parameters, correlations.

Актуальність. Огляд публікацій

Кругові оболонкові конструкції вже понад півстоліття користуються значним попитом у населення для зведення великих за розмірами і різноманітних за призначенням будівельних об'єктів. Особливу увагу до себе привертає їх сучасний дизайн, можливість створювати великий

спектр геометричних фігур, функціональність, технологічність та достатньо великі показники несучої здатності. Такі конструкції розробляють і проектують для покриттів ангарів, критих стоянок автотранспорту, складських приміщень, торгівельних і виставкових центрів, в сільському господарстві та звичайно ж в промисловості [1].

Формоутворення кругових оболонок залежить від призначення, доступності будівельного майданчика, габаритних розмірів, геометрії в плані та умов експлуатації. Максимально широко зазначеним умовам відповідають оболонки, утворені криволінійною сітчастою поверхнею на круглому, еліпсоподібному чи прямокутному плані. Проте найбільш функціональною і майже універсальною вважають форму конструкції у вигляді циліндричної поверхні обертання [2], причому в перерізі не параболічного, а кругового окреслення.

Головні фундаментальні роботи в сфері формоутворення зазначених поверхонь належать інженерам і науковцям минулого століття [3–7]. Між тим в останні роки інтерес до сітчастих оболонок кругової форми не згас, а продовжує розвиватись.

Постановка проблеми

Проте заважає сталому розвитку проблема уразливості конструкцій до втрати стійкості внаслідок нераціонального співвідношення геометричних параметрів. Попередні дослідження не дозволили збільшити ширину оболонок за умови використання прямокутної чарунки. Не вирішеним залишилось питання укрупненої побудови геометричної форми об'єднаними гранями.

Мета і задачі роботи

Тому удосконалення наявних конструктивних рішень і підвищення експлуатаційних якостей формулює *мету роботи* – уточнення формотворних принципів побудови геометрично раціональних кругових конструкцій.

Установлення параметрів, які відповідають за порядок визначення розмірів оболонок, розробка геометричних схем з урахуванням особливостей побудови сітчастих поверхонь становить *задачі*, які потрібно вирішити.

Порядок визначення параметрів

Інформаційні джерела свідчать про те, що процес побудови кругової поверхні передбачає наявність заданого радіуса кривизни та кута описаного кола оболонки. Далі з введенням регулярної сітки поверхню слід розбити на потрібну кількість чарунок уздовж дуги кола і за напрямком твірної. Бажано, щоб форма чарунок була у вигляді квадрата, але обов'язково з розкосом [8], який поділяє його на два однакових трикутника. Отже число елементів у вузлах в плані таким чином становитиме 2, 4, 5 або 6 (рис. 1).

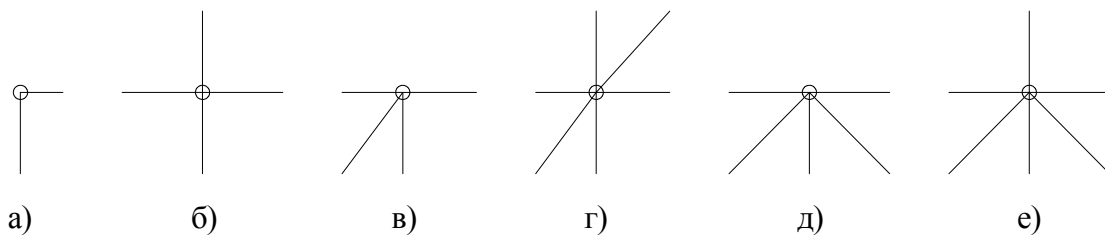


Рисунок 1 – Число елементів у вузлах в плані кругової циліндричної сітчастої оболонки: а – два; б, в – чотири; г, е – шість; д – п'ять; кружечками показано вузлові вставки

Зауважимо, що за технологічними умовами [2, 9], кругова поверхня для циліндричних сітчастих оболонок повинна бути симетричною і має містити чарунки лише з однотипними поздовжніми l , поперечними h та діагональними d елементами.

Як уже зазначалося раніше [10], розмір чарунок a або крок елементів в напрямку довжини і ширини конструкції рекомендується брати однаковим.

Проте, коли задано ширину B і стрілу підйому (висоту) оболонки f та їх раціональне співвідношення $B/f = 2...5$ [2], то потрібно встановити послідовність побудови конструкції і визначити низку формотворних параметрів.

Так, згідно з геометричними співвідношеннями довжина елементів уздовж дуги кола буде

$$h = 2R \sin \alpha_0, \quad (1)$$

де R – радіус кривизни;

α_0 – кут між елементом за напрямком ламаної лінії оболонки і горизонтальною площиною в місці ділянки гребеня.

Звідки

$$\sin \alpha_0 = h / 2R; \quad (2)$$

$$\alpha_0 = \sin^{-1}(h / 2R) = \arcsin(h / 2R). \quad (3)$$

Тоді з урахування кута α_0 можна знайти центральний кут α , який визначатиме положення двох сусідніх елементів у вигляді об'єднаних граней та додатковий кут α_1 (рис. 2):

$$\alpha = 2\alpha_0, \quad \alpha_1 = 90^\circ - \alpha_0. \quad (4)$$

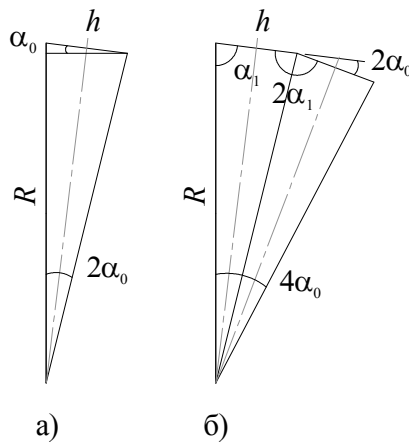


Рисунок 2 – Геометричні параметри побудови елементів уздовж дуги кола кругової циліндричної сітчастої оболонки: а – одного; б – двох суміжних

Тобто, якщо наприклад радіус кривизни $R = 22,5$ м і чарунка квадратна розміром $a = 3,011$ м [11], то показники будуть наступними

$$\sin \alpha_0 = h / 2R = a / 2R = 3,011 / 2 \cdot 22,5 = 0,06692;$$

$$\alpha_0 = \sin^{-1}(h / 2R) = \arcsin(h / 2R) = \arcsin 0,06692 = 3,837^\circ;$$

$$\alpha = 2\alpha_0 = 2 \cdot 3,837^\circ = 7,674^\circ,$$

$$\alpha_1 = 90^\circ - \alpha_0 = 90^\circ - 3,837^\circ = 86,163^\circ.$$

Порядок визначення формотворних параметрів від ділянки гребеня до опорних граней кругової циліндричної сітчастої конструкції наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Приклад послідовності розрахунку показників уздовж дуги кола оболонки

n^*	$n\alpha_0$	$\sin n\alpha_0$	$\cos n\alpha_0$
1	3,837	0,06692	0,99776
3	11,511	0,19956	0,97989
5	19,185	0,32862	0,94446
7	26,859	0,45180	0,89212

Примітка: n^* – коефіцієнт збільшення кута α_0 між елементом за напрямком ламаної лінії сітчастої поверхні і горизонтальною площиною від верхньої до нижньої грані.

Отже, формотворними параметрами кругової конструкції буде радіус кривизни R , розмір чарунки a , ширина B , висота f , центральний кут α , кут між елементом за напрямком ламаної лінії оболонки і горизонтальною площиною в місці ділянки гребеня α_0 та додатковий кут

α_1 . Їх раціональні співвідношення за наведеним прикладом становлять: $a/2R = 0,06692$, $\alpha = 2\alpha_0 = 7,674^\circ$, $\alpha_1 = 90^\circ - \alpha_0 = 86,163^\circ$, $f = (1/2 \dots 1/5)B$.

Створення геометричних схем кругових циліндричних поверхонь повинно передбачати:

- використання симетричних конструкцій і квадратних чарунок з однотипними поздовжніми l , поперечними h та діагональними d елементами;
- встановлення однакового кроку a елементів в напрямку габаритних розмірів на прямокутному плані оболонки;
- наявність заданої ширини B і стріли підйому f сітчастої поверхні та їх раціональне співвідношення $B/f = 2 \dots 5$;
- визначення довжини елементів h уздовж дуги кола через радіус кривизни R і кут α_0 .

Для перевірки доцільності використання запропонованих рекомендацій продовжено приклад, де за встановленими параметрами і співвідношеннями та уточненими принципами створення геометричних схем розглянутих поверхонь виконано формоутворення і розрахунок невідкріплених кругових сітчастих оболонок шириною 24 м.

Оцінка стійкості виконана для конструкцій з прямокутними і квадратними чарунками. Габаритний розмір за напрямком твірної взято залежно від співвідношень l/h в межах $L = 30 \dots 32,28$ м. У випадку використання однакових елементів уздовж довжини і ширини ($l = h$), величина L залишилась фіксованою на рівні 30 м.

Відповідність параметрів побудови наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Габарити конструкції, розміри чарунок та їх співвідношення

B/f	3,46	3,14	2,86	2,61	3,46	3,14	2,86	2,61	2,86	2,61
l	5,00	5,00	5,00	5,00	3,75	3,75	3,75	3,75	3,00	3,00
$a(h)$	4,81	4,98	5,16	5,38	3,62	3,74	3,89	4,05	3,11	3,24
l/h	1,04	1,00	0,97	0,93	1,04	1,00	0,96	0,93	0,96	0,93

Як бачимо значення, які розміщено в табл. 2 характеризуються певною повторюваністю, що свідчить про однакову кількість граней уздовж твірної та за напрямком дуги кола. Враховано також зміну кутових параметрів формоутворення сітчастої поверхні. Співвідношення габаритних розмірів B/f виявлено в межах 2,6...3,5.

Отримані показники дозволили збільшити ширину конструкції, забезпечили можливість раціональної побудови і позитивно вплинули на стійкість циліндричних кругових оболонок. Прослідкувати за динамікою їх зміни можна на рис. 3, де наведено графік залежності коефіцієнта запасу стійкості λ від співвідношення B/f , форми і кроку елементів l уздовж довжини.

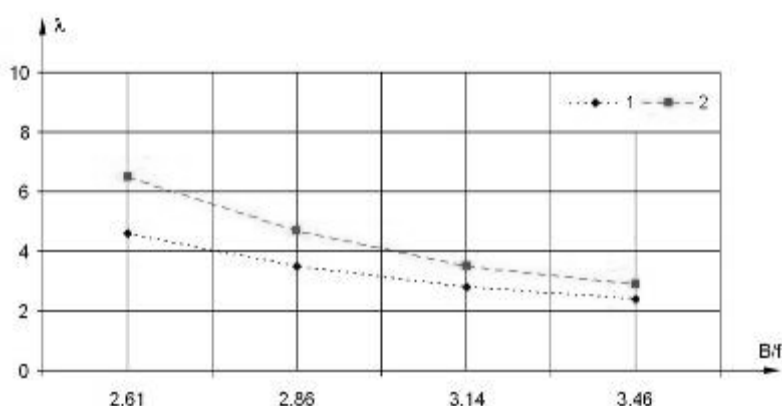


Рисунок 3 – Динаміка зміни коефіцієнта запасу стійкості λ в залежності від співвідношення B/f кругової циліндричної сітчастої оболонки з чарунками: 1 – прямокутними; 2 – квадратними

Висновки

- Визначено формотворні параметри побудови і зменшено уразливість до втрати стійкості кругових циліндричних сітчастих оболонок. Забезпечено врахування раціональних співвідношень габаритних розмірів конструкцій за напрямком дуги кола.
- Уточнено принципи створення геометричних схем характерних фрагментів розглянутих

поверхонь. Запропоновано використання симетричних чарунок у вигляді квадрата з діагональним елементом всередині та отримано можливість збільшення габаритного розміру – ширини.

- Проаналізовано регулярність сітчастої конструкції. Встановлено число повторюваних типів вузлів і кількість їх елементів. Вирішено питання укрупненої побудови геометричної форми об'єднаними гранями.
- Наведено приклад і порядок визначення параметрів та співвідношень від ділянки гребеня до опорних граней.
- Отримано числові значення тригонометричних функцій і необхідних кутів розташування елементів.

Використана література

1. 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.
2. Свердлов В. Д. Металеві циліндричні стержневі покриття : моног. / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 134 с.
3. Пшеничнов Г. И. Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок / Г. И. Пшеничнов. – М. : Наука, 1982. – 352 с.
4. Рюле Г. Пространственные покрытия. Конструкции и методы возведения / Г. Рюле ; пер. с нем. – Том 2. – М. : Стройиздат, 1974. – 247 с.
5. Патцельт О. Стальные решетчатые пространственные конструкции / О. Патцельт ; пер. с нем. – М. : ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. – 95 с.
6. Райт Д. Т. Большие сетчатые оболочки / Д. Т. Райт. – Л. : Стройиздат, 1966. – 11 с.
7. Попов И. Г. Цилиндрические стержневые системы / И. Г. Попов. – Л. ; М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. – 112 с.
8. Сіянов О. І. Металеві циліндричні стержневі покриття: конструювання та розрахунок : монографія / О. І. Сіянов. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 140 с.
9. Сіянов О. І. Робота металевого одношарового циліндричного стержневого покриття з жорсткими підкріплюючими елементами / О. І. Сіянов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : збірник наук. праць. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2009. – № 2 (7). – С. 13–27.
10. 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; УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського. – Київ, 2002. – 19 с.
11. Трущев А. Г. Пространственные металлические конструкции : учеб. пос. для вузов. / Трущев А. Г. – М. : Стройиздат, 1983. – 215 с.

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

Асюченко Василь Федорович – магістрант Вінницького національного технічного університету

Августінович Юрій Вікторович – магістрант Вінницького національного технічного університету

Сіянов Александр Ильич – к.т.н., доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Винницкого национального технического университета

Асюченко Василий Федорович – магистрант Винницкого национального технического университета

Августинович Юрий Викторович – магистрант Винницкого национального технического университета

Alexander Siyanov – Ph.D., assistant professor of Department of Industrial and Civil Engineering Vinnytsia National Technical University

Vasiliy Asuchenko – master Vinnytsia National Technical University

Yuriy Avgustinovich – master Vinnytsia National Technical University.