

УДК 624.074.5

РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ ЦИЛІНДРИЧНИХ СТЕРЖНЕВИХ ПОКРИТТІВ

Визначено раціональні параметри і їх співвідношення в рамках безпечної роботи розкритої сіткової області циліндричних стержневих покриттів. Сформульовано принципи положення і методологічну основу створення конструкцій. Проаналізовано закономірності зміни силового стану та геометричної форми розрахункових моделей.

Rational parameters and their correlations are certain within the framework of safe work of pascosной net area of the cylindrical core coverings. Fundamental positions and methodological basis of creation of constructions are formulated. Conformities to law of change of the power state and geometrical form of calculation models are analyzed.

Ключові слова: циліндричні стержневі покриття, розкрита сіткова область, раціональні параметричні залежності, силовий стан, геометрична форма.

Робота циліндричних стержневих покриттів під дією навантаження супроводжується процесами, які призводять до зміни початкової геометрії, заданої проектом. Конструкція перебудовується внутрішньо, підлаштовуючись під зовнішній вплив, та набуває нової якості. Оскільки всі елементи покриття розташовано на циліндричній сітчастій поверхні, то кожен стержень так чи інакше задіяний в роботі. Проте, як правило, конструкція спирається в опорних точках на контурні лінії, де можлива істотна реакція елементів на зовнішні дії. В такому сенсі розумно виділити основні ділянки покриття за критерієм використання міцності матеріалу. Проблема виявлення проблемних ділянок, де виникають великі зусилля в елементах, що спричиняє появу концентраторів напружень, розглядається в [1–3]. У наукових працях [4, 5] схеми сіток проаналізовані з позиції раціональності роботи елементів, на підставі яких у [6] запропоновано використовувати варіант розташування стержнів у чарунках за трьома напрямками у просторі (рис. 1).

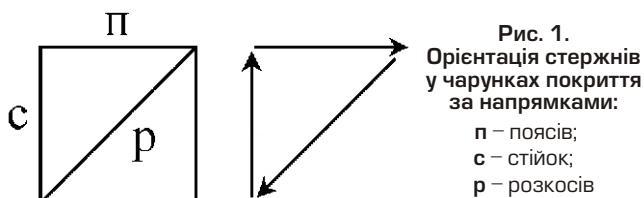


Рис. 1.
Орієнтація стержнів у чарунках покриття за напрямками:
п – поясів;
с – стійок;
р – розкосів

Такий принцип дозволив сформулювати мету, яка полягала в отриманні раціональних параметричних залежностей циліндричних стержневих покриттів [7] щодо їхнього впливу на силовий стан і переміщення вузлів розкритої сіткової області.

Процес дослідження передбачав наступне:



О.І. Сіанов

доцент кафедри промислового та цивільного будівництва
Вінницького національного технічного університету, к.т.н., доцент

- створення комп'ютерних моделей для визначення ступеня чутливості розрахункових схем на зміну геометричної форми покриття;
- виявлення раціональних співвідношень формотвірних параметрів і аналіз реальних розмірів конструкції;
- встановлення показників роботи сіткової області та оброблення отриманих даних.

Відомо, що основними формотвірними параметрами, які істотно впливають на зусилля в елементах і переміщення вузлів, є довжина L , ширина B , висота (стріла підйому) f , кут описаного кола і радіус R кривизни покриття [8–10]. Причому одні параметри за етапами побудови є вихідними, а інші похідними. Крім того, істотним показником формоутворення конструкції є ступінь заповнення сітки стержнями на всій циліндричній поверхні.

Тому для оцінки відносного зниження несучої здатності конструкції за умови перевищення ключових геометричних показників доцільно ввести безрозмірний параметр

$$c = N U / iK,$$

де N – величина зовнішнього розподіленого навантаження, що призводить до критичного стану системи; U – формотвірний параметр, який характеризує ступінь підняття і заповнення сітки; i – коефіцієнт врахування розмірів чарунки циліндричної поверхні; K – мембранна жорсткість елементів покриття.

Оцінюючи критичний стан конструкції та беручи до уваги квадратний розмір чарунки, можна записати:

$$N \leq q; U \leq aR; i \leq s; K \leq EA,$$

де q – критичне навантаження; a – розмір чарунки; R – радіус кривизни; s – коефіцієнт заповнення сітки; E – модуль пружності матеріалу; A – площа поперечного перерізу елементів.

Тоді, враховуючи наявність діагонального елемента, який поділяє кожну чарунку на два однакових трикутника, введений коефіцієнт жорсткості потрібно приймати більшим одиниці, а саме: $s = 1,5$, оскільки одна половина жорсткості розкошу відноситься до пояса, а друга – до стійки.

Звичайно заповнення сітки істотно впливає на згинальну EJ і мембранну EA жорсткість циліндричної поверхні, а в цілому – і на несучу здатність покриття. Але не менш значущими є також параметри, які відповідають за габаритні розміри конструкції.

Очевидно, що в реальній практиці будівництва найбільший інтерес викликає ширина B покриття або критерій, який визначає інші розміри та можливості їх застосування.

Грунтуючись на досвіді проектної діяльності циліндричних стержневих покриттів у нашій країні та за кордоном, за вихідний параметр можна прийняти досить поширений розмір $B = 18$ м. Тоді параметри формоутворення (кут описаного кола і радіус R кривизни) будуть визначальними, а приймаючи за основу квадратну форму чарунки, легко знайти розмір a . Безумовно ширина B покриття в даному випадку стає орієнтиром для визначення меж зміни довжини L і стріли підйому f . Після визначення реальних габаритів покриття з'являються всі підстави отримати розміри перерізів елементів.

Використовуючи сучасний підхід до вирішення подібних задач, виконано побудову і розрахунок комп'ютерних моделей, що дало змогу досить швидко оцінити ступінь чутливості розрахункових схем на зміну силового стану та геометричної форми покриття.

В основу моделювання покладено принципи положення:

- використання раціональних профілів і мінімальної кількості типорозмірів елементів;
- формування покриття із однакових граней уздовж твірної циліндра;
- забезпечення стійкості конструкції через накладання нормативних обмежень на переміщення вузлів;

- зменшення витрат на можливий обігрів приміщення під покриттям.

Кожна комп'ютерна модель сформована стержневими скінченними елементами методом обертання поверхонь.

Обпирання покриття здійснено в контурних вузлах і реалізовано шарнірними в'язями з урахуванням забезпечення геометричної незмінності конструкції.

Власну вагу моделей отримано після попереднього призначення характеристик жорсткості стержням шляхом використання базових типів перерізу сталевих профілів.

Зовнішній силовий вплив розраховано з урахуванням сучасних нормативних вимог і прикладено у вигляді повного та несиметричного навантаження до вузлів сітчастої поверхні.

На підставі аналізу результатів, отриманих за даними комп'ютерного моделювання і виконаних розрахунків, виявлено межі зміни формотвірних показників

$$L/B \ 1..1,5; B/f \ 3..4; \ 120^\circ..150^\circ.$$

Знайдені параметри та їх співвідношення розташовано в достатньо прийнятних межах, а подальше збільшення співвідношення ширини B до стріли підйому $f(B/f \geq 4)$ та зростання кута описаного кола покриття за величину 150° призвело до небезпечного зменшення висоти f конструкції та спричинило різке збільшення зусиль у багатьох елементах. Особливо відреагували поясні елементи нижніх ребер і окремі поздовжні елементи граней, розташованих на схилах покриття. Відчутних змін зазнала також форма сітчастої поверхні. Так, істотно зросли переміщення вузлів у вертикальному напрямку, а найбільшу небезпеку виявлено в області опорних ділянок внаслідок значних прогинів центральної частини покриття. Інші горизонтальні відхилення вузлів збільшено меншою мірою, ніж вертикальні та зафіксовано в нижніх розтягнутих ребрах покриття.

Оцінюючи роботу комп'ютерних моделей, встановлено межі раціональних геометричних параметрів конструкції, які наведено в таблиці.

Формотвірні параметри моделювання циліндричних стержневих покриттів

Параметр	Позначення	Величина, м
Ширина	B	18 – 24
Довжина	L	24 – 30
Стріла підйому	f	5,2 – 7,6
Радіус кривизни	R	9,3 – 13,3
Сторона чарунки	a	3 – 5

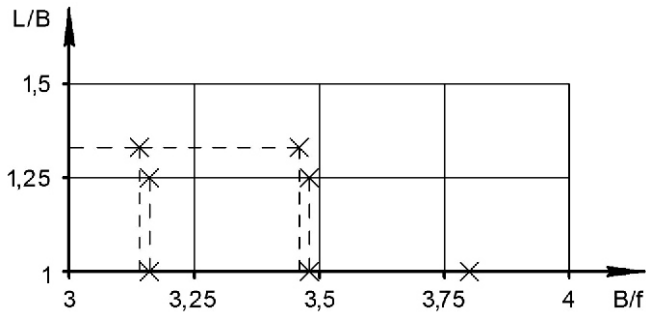


Рис. 2. Графік раціональних співвідношень габаритних розмірів моделей покриття

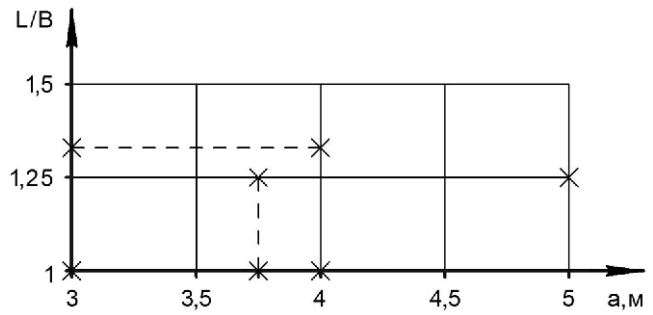


Рис. 3. Графік раціональних співвідношень габаритних розмірів моделей покриття з параметром чарунки

Графічне співвідношення габаритних розмірів покриття показано на рис. 2.

Як бачимо, наведені на графіку результати мають більш уточнювальний характер, ніж отримані раніше в рамках пошуку оптимальних геометричних параметрів [5]. Раціональні співвідношення L/B виявлено на 3-х рівнях (1; 1,25 і 1,33), що відповідають 5-м значенням B/f (3,14; 3,16; 3,46; 3,48; 3,8).

Аналізуючи дані таблиці і беручи до уваги, що реальні розміри покриття в плані залежать від габаритів чарунки, побудовано графік раціональних співвідношень із параметром a (рис. 3).

Із наведених показників випливає, що графічна залежність $L/B - a$ містить 4 значення розміру чарунки (3; 3,75; 4; 5), яким відповідає та ж сама кількість рівнів, що й на рис. 2.

Отриманий в обох графіках порядок розташування маркерів свідчить, що більшість значень зафіксовано на рівні однакових розмірів B і L . Такий факт не викликає здивування, адже рівень $L/B = 1$, якому відповідає квадрат у плані, є проміжним на шляху до збільшення габаритів покриття.

Таким чином, можна дійти висновку, що істотний вплив на силовий стан сформованих моделей циліндричних стержневих покриттів порівняно з іншими параметрами спричиняє кут описаного кола сітчастої поверхні. Як наслідок змінюється стріла підйому f , радіус R кривизни і ширина B покриття. Різкі зміни довжини L конструкції також призводять до підвищеної чутливості елементів, особливо в уразливих ділянках покриття.

Висновки.

1. Отримано параметричні залежності циліндричних стержневих покриттів із позицій їхнього впливу на силовий стан і переміщення вузлів розкритої сіткової області.

2. Здійснено аналіз формотвірних параметрів, визначено основні показники і їх співвідношення та встановлено раціональні межі їх можливого використання.

3. Виконано оцінку ступеня чутливості розрахункових моделей на зміну геометричної форми покриття і знайдено граничний кут описаного кола сітчастої поверхні, за межею якого неможлива експлуатація конструкції.

- [1] Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции: учеб. пос. для вузов. / А.Г. Трущев. М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.
- [2] Пшеничнов Г.И. Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок / Г.И. Пшеничнов. М.: Изд-во «Наука», 1982. – 352 с.
- [3] Попов И.Г. Цилиндрические стержневые системы / И.Г. Попов. Л.; М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. – 112 с.
- [4] Свердлов В.Д. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук 05.23.01 / Свердлов Владимир Деонисович. К., 1977. – 174 с. Библиогр.: С. 153–161.
- [5] Рюле Г. Пространственные покрытия. Конструкции и методы возведения / Г. Рюле; пер. с нем. Том 2. М.: Стройиздат, 1974. – 247 с.
- [6] Инженерные конструкции: [учеб. для вузов] / В.Н. Голосов, В.В. Ермолов, Н.В. Лебедева [и др.]; под ред. В.В. Ермолова. М.: Высш. школа, 1991. – 408 с.
- [7] Сіянов О.І. Металеві циліндричні стержневі покриття: конструювання та розрахунок: монографія / О.І. Сіянов. Вінниця: ВНТУ, 2012. – 141 с.
- [8] Сіянов О.І. Визначення силових факторів і параметрів деформування металевих циліндричних стержневих покриттів / О.І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2012. – № 1. – С. 20–25.
- [9] Сіянов О.І. Згинальна і мембранна жорсткості та параметр форми втрати стійкості як фактори впливу на величину навантаження одношарових циліндричних стержневих покриттів / О.І. Сіянов // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. тр. Одесса: ОГАСА, 2008. – Ч. 2. – С. 19–25.
- [10] Гоцуляк Е.А. Устойчивость и нелинейное деформирование цилиндрических сетчатых оболочек покрытия / Е.А. Гоцуляк, А.И. Сіянов // Прикл. механика. – 2004. – 40. – № 4. – С. 78–83.

Надійшла 14.03.2014 р.