

УДК 624.074.5

О. І. Сіянов, к. т. н.;

Б. В. Погрішук, к. е. н., доц.

## РОЗРАХУНОК ОДНОШАРОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ СТЕРЖНЕВИХ ПОКРИТТІВ

Розв'язана задача визначення оптимального варіанта одношарового циліндричного стержневого покриття за умови забезпечення загальної стійкості конструкції та з урахуванням аналізу впливу елементів підкріплення на роботу покриття. За допомогою програми «Міраж» для систем без підкріплень, з затяжками та з горизонтальними фермами отримані значення напружено-деформованого стану покриття в діапазоні зміни значень геометричних параметрів. За результатами проведених досліджень встановлено, що варіант покриття з затяжками є оптимальним, який характеризується мінімальною масою на 1 м<sup>2</sup> просторової конструкції, раціональним співвідношенням геометричних параметрів та перевищенням критичного навантаження над експлуатаційним.

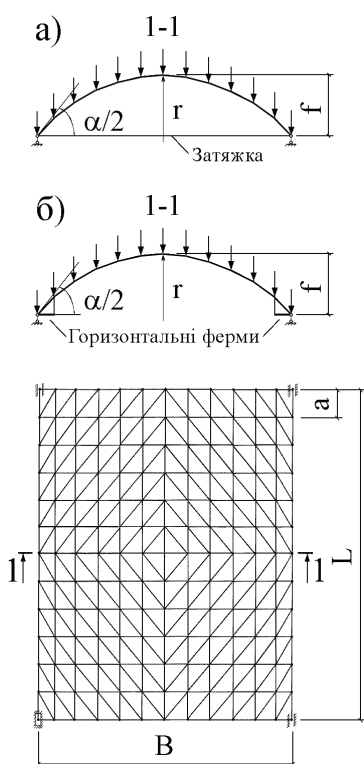


Рис. 1. Підкріплення покриття:

а) – затяжками;

б) – горизонтальними фермами

величина критичного навантаження покриття.

Поперечний переріз підбрано за максимальним зусиллям, а масу конструкції для кожного з варіантів прийнято як

$$G = \Phi(a). \tag{2}$$

Величина маси 1 м<sup>2</sup> покриття буде

$$q = G/LB = \Phi(a)/LB. \tag{3}$$

Передбачалось визначити оптимальну конструктивну схему покриття за допомогою аналізу його загального напружено-деформованого стану від дії критичного навантаження шляхом зміни

Введення елементів підкріплення в систему одношарового циліндричного стержневого покриття є ефективним способом зменшення вузлових переміщень і напружень в стержнях зі збільшенням геометричних параметрів конструкції [1—5]. Такий спосіб реалізується, в першу чергу, за допомогою використання затяжок та горизонтальних ферм (рис. 1), які впливають на загальний напружено-деформований стан системи і, незважаючи на додаткові підкріплювальні елементи, дають можливість, за рахунок оптимального розподілу зусиль від включення затяжок та горизонтальних ферм, з певними геометричними параметрами, зменшити масу покриття [4]. В цьому випадку постає задача для покриття без підкріплень, з затяжками та з горизонтальними фермами визначити оптимальний з точки зору витрат матеріалів варіант на підставі аналізу роботи покриття.

Для досліджень використана програма «Міраж» [6], в основу якої покладений метод скінченних елементів. Параметрами вхідної інформації є ширина і довжина покриття; типи елементів; жорсткісні характеристики; координати вузлів; граничні умови; величина, вид, напрямок, розташування, тип і номер навантаження.

Критерієм для пошуку оптимального варіанта прийнято масу 1 м<sup>2</sup> покриття за дії критичного навантаження. Параметр, що характеризує оптимальну форму представлено у вигляді

$$a = \Phi(L, B, r, f, \alpha, q_{кр}), \tag{1}$$

де  $a, L, B, r, f, \alpha, q_{кр}$  — відповідно розмір чарунки, довжина, ширина, радіус кривизни, стріла підйому, кут описаного кола, величина критичного навантаження покриття.

деяких параметрів. Параметр  $B$  змінювався від 12 до 42 м (крок 6 м), а кут  $\alpha$  варіювався в межах  $100^\circ \dots 150^\circ$  (через  $10^\circ$ ). Інші параметри, такі як радіус кривизни  $r$ , стріла підйому  $f$ , розмір чарунки  $a$ , довжина покриття  $L$  визначались у відповідності зі зміною  $B$  і  $\alpha$  та за допомогою співвідношень, які встановлені в [7].

Для варіантів покриття визначались напруження в елементах і переміщення вузлів під час дії рівномірно розподіленого навантаження, яке збиралось з площі чарунки і прикладалось у вузлах. Співвідношення діаметра  $d$  до довжини елемента  $l$  не перевищувало  $1/15$ . В якості основної схеми прийнято шарнірно-стержневу розрахункову модель.

Характер розподілу і величина напружень і переміщень, одержані за даними розрахунку, дозволили встановити, що покриття, підкріплені затяжками і горизонтальними фермами працюють неоднаково. Істотно зменшуються переміщення вузлів і напруження в елементах покриття із затяжками, але практично не змінюють характеру роботи покриття горизонтальні ферми.

Якщо введення затяжок і горизонтальних ферм не впливає на величину максимальних вертикальних переміщень вузлів, які виявлені в центрі покриття, то, в найнебезпечніших з точки зору загальної стійкості другому і передостанньому ребрах, максимальне вертикальне переміщення від затяжок зменшується більше, ніж у 3 рази, а з введенням в систему горизонтальних ферм — в 1,7 рази.

Подібна картина спостерігається і при розподілі горизонтальних переміщень вузлів, вплив затяжок для яких виявився значно більшим ніж від дії горизонтальних ферм. Максимальні горизонтальні переміщення в напрямку ширини покриття, які виявлені в другому ребрі, зменшились із введенням затяжок в 6 разів, а з впливом горизонтальних ферм — більше ніж у 2 рази. В напрямку довжини покриття максимум горизонтальних переміщень, який зафіксований в крайніх двох вузлах першого і останнього ребер зменшився від затяжок в 1,5 рази, а з введенням горизонтальних ферм залишився майже без змін.

Слід також зауважити, що в покритті підкріпленому затяжками різниця напружень в елементах не перевищує 30 %, а переміщень у вузлах — 12 % відносно системи без підкріплень. Зменшення максимальних показників в приопорних гранях компенсується збільшенням їх в середній зоні, особливо в ділянці гребеня. Проте, для покриття з горизонтальними фермами відхилення напружень в елементах спостерігається в межах 16 % порівняно з покриттям, підкріпленим затяжками. Крім того, створений таким чином бортовий елемент дозволяє ефективно використовувати «мертві зони», які виникають в приопорних ділянках покриття, влаштовуючи в них електропроводку, телефонні кабелі та інші інженерні комунікації.

Отже, в результаті проведеного аналізу загального напружено-деформованого стану покриттів з різними конструктивними схемами можна стверджувати, що кожний варіант підкріплення має свої особливості. Виходячи з цього дуже важко встановити оптимальний варіант, адже горизонтальні ферми, наприклад, дозволяють рівномірно розподілити напруження в елементах, а затяжки, в свою чергу, істотно зменшують переміщення вузлів. В цьому випадку потрібно проаналізувати визначальні фактори впливу підкріплювальних елементів на поведінку покриття.

Як стало відомо із розрахунків, всі елементи, незалежно від схеми підкріплення, працюють у пружній стадії роботи покриття, тобто до межі текучості, а переміщення вузлів в покритті зменшуються з введенням затяжок чи горизонтальних ферм. У зв'язку з цим передбачається отримати оптимальний варіант для покриттів, підкріплених додатковими елементами.

Критерієм для вибору оптимального варіанта прийнята маса  $1 \text{ м}^2$  просторової конструкції, яка визначається за максимальними перерізами елементів, виходячи із максимальних зусиль, в залежності від прийнятих типорозмірів елементів [8].

В результаті розрахунків, проведених для різних варіантів конструктивних схем було встановлено, що найменшу масу мають покриття з затяжками, оптимальні геометричні параметри якого такі: розмір чарунки  $a = 3,1 \text{ м}$ ; довжина  $L = 37,2 \text{ м}$ ; ширина  $B = 30 \text{ м}$ ; радіус кривизни  $r = 16,59 \text{ м}$ ; стріла підйому  $f = 9,55 \text{ м}$ ; кут описаного кола  $\alpha = 130^\circ$  (рис. 2); елементи трубчастого перерізу  $d \times t = 219 \times 5 \text{ мм}$ ; величина критичного навантаження  $q_{\text{кр}} = 9,45 \text{ кН/м}^2$ ; маса  $1 \text{ м}^2$  покриття  $g = 29,85 \text{ кг}$ .

Як бачимо критичне навантаження ( $q_{кр} = 9,45 \text{ кН/м}^2$ ) перевищує експлуатаційне (де  $q_e = 2 \text{ кН/м}^2$  [9]) більше, ніж у 4 рази, а коефіцієнт маси змінюється порівняно з попередніми дослідженнями [3] майже на 1/3. Цей варіант покриття є оптимальним, оскільки характеризується найменшими витратами сталі, раціональним співвідношенням геометричних параметрів і ефективною роботою конструкції під навантаженням.

Таким чином, отриманий результат показав, що використання затяжок в конструкції покриття можна досягти істотної зміни в поведінці конструкції і отримати оптимальний варіант.

### Висновки

1. Вперше з урахуванням аналізу роботи покриття від дії критичного навантаження визначений оптимальний, з точки зору витрат сталі, співвідношень геометричних параметрів та ефективною роботою конструкції під навантаженням, варіант одношарового циліндричного стержневого покриття.

2. Для досліджень використана програма «Міраж», яка дозволила для трьох варіантів конструктивних форм — без підкріплень, з затяжками та з горизонтальними фермами зі збільшенням габаритних розмірів конструкції отримати параметри напружено-деформованого стану покриття, на підставі чого виявлений неоднаковий вплив елементів підкріплення на роботу покриття.

3. За результатами проведених досліджень встановлено, що варіант покриття із затяжками є оптимальним, оскільки характеризується мінімальною масою  $1 \text{ м}^2$  просторової конструкції, раціональним співвідношенням геометричних параметрів та перевищенням критичного навантаження над експлуатаційним.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов И. Г. Цилиндрические стержневые системы. — Л.-М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. — 112 с.
2. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНИП II-23-81\*) / Укрниипроекстальконструкция. — М.: Стройиздат, 1989. — 159 с.
3. Свердлов В. Д., Сіянов О. І. Металеві циліндричні стержневі покриття. — Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. — 134 с.
4. Сіянов О. І. Теоретичні та експериментальні дослідження одношарових циліндричних стержневих покриттів // Вісник ВПІ, 2001. — № 3. — С. 13 — 18.
5. Свердлов В. Д., Сіянов А. И. Совершенствование цилиндрических стержневых систем покрытий // Труды Междунар. конф. «Теория и практика металлических конструкций». — Том 2. — Донецк-Макеевка, 1997. — С. 37 — 41.
6. Городецкий А. С., Горбовец А. В., Павловский В. Э. Вычислительный комплекс «МИРАЖ» для расчета пространственных конструкций методом конечных элементов, вып. 1—200. — М.: ЦНИПИИАСС Госстроя СССР, 1973.
7. Свердлов В. Д. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1977. — 20 с.
8. Сіянов О. І. Дослідження впливу геометричних параметрів на розподіл маси одношарових циліндричних стержневих покриттів // Вісник ВПІ. — 2002. — № 3. — С. 10 — 14.
9. Гоцуляк Є. О., Сіянов О. І. Загальна стійкість одношарових циліндричних стержневих покриттів // Вісник ВПІ, 2002. — № 1. — С. 14 — 19.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 7.09.04  
Рекомендована до друку 21.12.04

**Сіянов Олександр Ілліч** — доцент кафедри промислового та цивільного будівництва.

Вінницький національний технічний університет;

**Погришук Борис Васильович** — директор Вінницького інституту економіки.

Тернопільська академія народного господарства

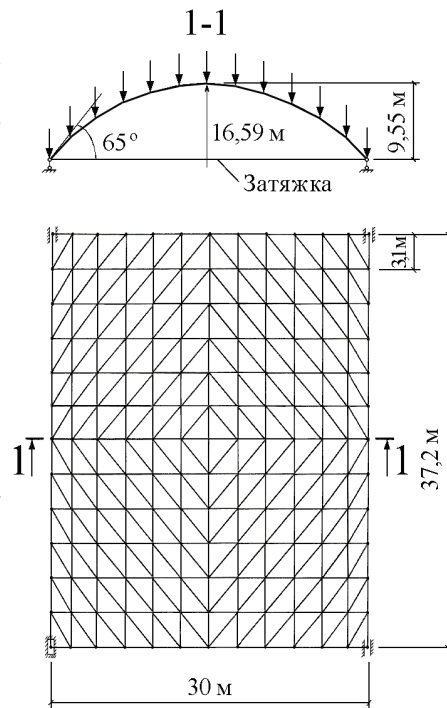


Рис. 2. Оптимальний варіант покриття