

УДК 624.074.5

О. І. Сіянов, к. т. н., доц.

СТІЙКІСТЬ ЦИЛІНДРИЧНИХ СІТЧАСТИХ ОБОЛОНОК ПОКРИТТЯ В НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ

В геометрично нелінійній постановці розглянуто задачу стійкості циліндричної сітчастої оболонки покриття. Досліджено характер деформування оболонки з недосконаlostями і визначено її чутливість до недосконаlostей форми.

Вступ

Циліндричні сітчасті оболонки покриття є конструкціями нульової гауссової кривизни. Вони використовуються для перекриття великих прольотів без додаткових опор чи колон. Втім, прагнення збільшення розмірів площ, що перекриваються, потребує розробки підходів до розрахунку. Існують два аналітичних методи, кожний з яких передбачає розгляд або суцільної, або дискретної оболонки [1—3], але жодний з них не враховує наявність недосконаlostей форми, вплив яких на стійкість конструкції може мати вирішальне значення. Тому в статті на основі використання теорії тонких суцільних оболонок пропонується оцінити поведінку циліндричного сітчастого покриття з недосконаlostями форми.

Постановка задачі та визначальні співвідношення

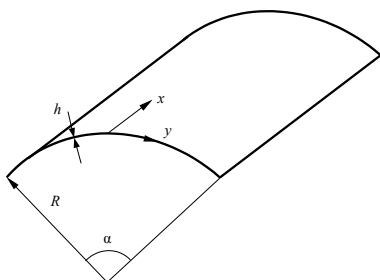


Рис. 1. Суцільний аналог сітчастої оболонки покриття

Для визначення несучої здатності циліндричних сітчастих оболонок покриття, яка вичерпується втратою стійкості [4], поставимо задачу здійснити аналіз напружено-деформованого стану в геометрично нелінійній постановці. З цією метою використовуємо програму МЕКРИС-2 [5], яка дозволяє побудувати траєкторії навантаження тонких поверхонь довільної канонічної форми з виявленням біфуркаційних і граничних точок [6, 7].

При цьому поверхня оболонки (рис. 1) задається трьома функціями

$$x = x(x^1, x^2); \quad y = y(x^1, x^2); \quad z = z(x^1, x^2) \quad (1)$$

і може бути викривлена через уведення функцій, які відображають відповідну недосконаlostь форми оболонки. Видозмінюючи параметри цієї функції, можна дослідити характер деформування оболонки з недосконаlostями і визначити її чутливість до змінення форми. В основу алгоритму цієї програми покладено метод криволінійних сіток [8—10], який є узагальненням методу кінцевих різниць при дискретизації векторних співвідношень [11] теорії оболонок у криволінійній системі координат. Алгебраїчна система нелінійних рівнянь вирішується методом продовження по параметру з автоматичним вибором ведучого параметра.

Перехід від сітчастої оболонки до суцільної здійснюється шляхом заміни жорсткості при згині і розтягу стержнів сіткової конструкції на відповідну згинальну і мембранну жорсткість суцільної оболонки ($D = sEJ/a$; $Eh/(1 - \nu^2) = sEA/a$) [12].

Серединна поверхня циліндричної оболонки описується рівняннями

$$\begin{aligned} x &= R \cos x^2; \\ y &= R \sin x^2; \\ z &= x^1, \end{aligned} \quad (2)$$

де x^1, x^2 – криволінійні координати, орієнтовані уздовж твірної і за напрямком дуги циліндра.

Недосконаlostі вводяться шляхом задання функції, яка збурює радіус

$$R = R_0 + A \sin \frac{\pi X^1}{L} \sin \frac{n \pi X^2}{\alpha R_0}, \quad (3)$$

за формою, аналогічною формі лінійної втрати стійкості. У формулі (3) параметрами недосконалості є амплітуда A і число півхвиль n уздовж дуги циліндричної поверхні. Для парного n , недосконалість призводить до симетричного збурення поверхні, для непарного — до кососиметричного.

Приклади деформування оболонки з недосконалостями для можливих варіантів кріплення по контуру

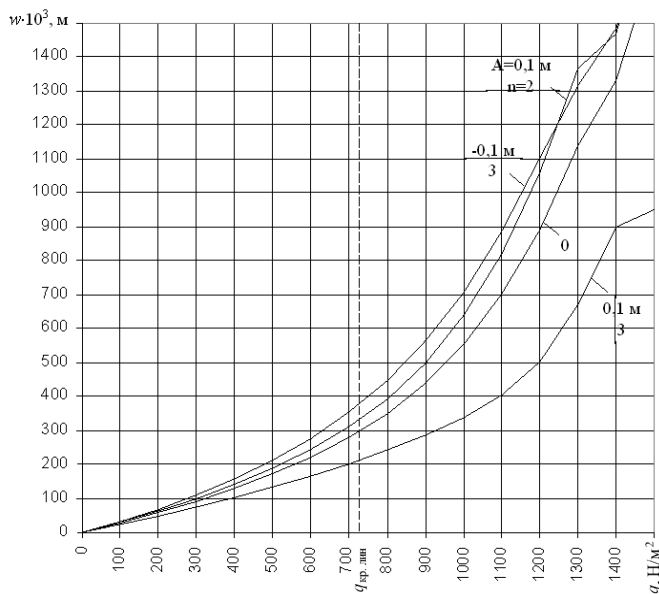


Рис. 2. Графік впливу недосконалостей на характер деформування оболонки покриття з незакріпленими вздовж дуги крайніми твірними

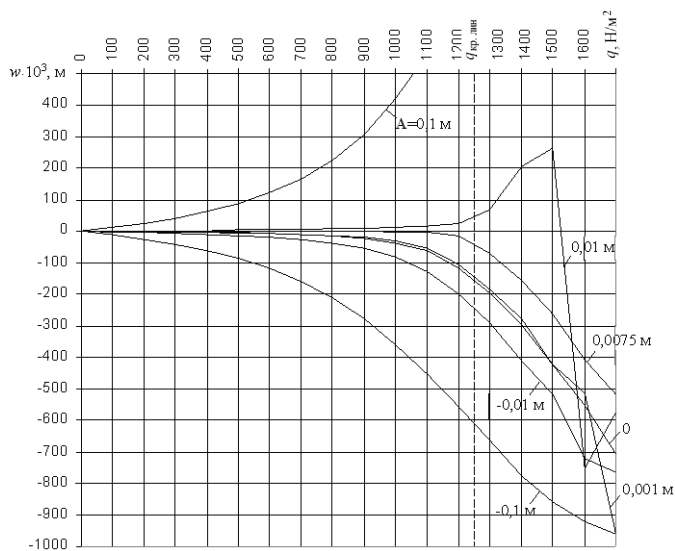


Рис. 3. Графік впливу недосконалостей на характер деформування оболонки покриття з повним закріпленням крайніх твірних

трьома півхвилями вздовж дуги. Деформування ідеальної оболонки характеризується спучуванням центральної частини і прогинанням оболонки в зонах, які прилягають до лінійних країв. Початкове збурення поверхні якщо $A = 0,1$ м, аналогічне формі деформування оболонки, збільшує деформативність конструкції. Протилежне за знаком збурення поверхні ($A = 0,1$ м) приводить до зворотної форми деформування. Якщо $A = 0,075$ м оболонка майже не деформується до значення ліній-

У нелінійній постановці розглянуто оболонку з параметрами: $L = 144,52$ м, $B = 41,72$ м, $R_0 = 22,5$ м, $E = 206$ ГПа, $J = 44,2 \cdot 10^{-8}$ м⁴, $A = 19,2 \cdot 10^{-4}$ м², розмір чарунки $a = 3,011$ м, яка має значення критичного навантаження $q_{кр,лін} = 727$ Н/м² (рис. 2).

Деформування ідеальної оболонки відбувається за симетричною формою з характерним розповзанням лінійних країв, що є наслідком незакріплених уздовж дуги крайніх твірних ($v \neq 0$). На кривій навантаження (див. рис. 2), яка має яскраво виражений нелінійний характер, відсутня біфуркаційна точка і при значенні навантаження, рівному $q_{кр,лін}$ [12], не відбувається якісної зміни форми рівноваги, а також не вичерпується несуча здатність оболонки. Відмічається лише незначне зниження жорсткості конструкції.

Збурення форми оболонки як за симетричною ($n = 3$), так і за кососиметричною ($n = 2$) функціями недосконалості, звичайно, не приводить до будь-якої якісної зміни кривої навантаження. І тільки функція, що збурює при $A = 0,1$; $n = 3$, яка за своєю формою протилежна формі деформування оболонки, приводить до деякого збільшення її жорсткості.

Для чіткішого виявлення особливостей деформування оболонки в околі значення лінійного критичного навантаження розглянута та ж оболонка з повним закріпленням крайніх твірних ($u = v = w = 0$) (рис. 3).

Для цієї оболонки спостерігається значне (у сотні разів) зниження жорсткості в околі значення лінійного критичного навантаження ($q_{кр,лін} = 1250$ Н/м²). Оболонка з такими закріпленнями чутливіша до недосконалостей, які задавалися

ного критичного навантаження і тільки після досягнення цього значення відбувається істотне зниження жорсткості конструкції.

Як бачимо, обидва варіанти оболонки не мають яскраво вираженого характеру зміни форми рівноваги. На кривих навантаження немає особливих точок — біфуркаційних і граничних, відсутні верхня і нижня критичні точки. У зв'язку з цим оболонка мало чутлива до недосконалостей.

Висновки

1. Для визначення несучої здатності циліндричної сітчастої оболонки покриття, що вичерпується втратою стійкості, здійснено аналіз напружено-деформованого стану криволінійної поверхні в геометрично нелінійній постановці.

2. На конкретних прикладах показано вплив параметрів недосконалості на зміну жорсткості конструкції та характер зміни форми рівноваги.

3. Досліджено процес деформування оболонки з недосконалостями для найпоширеніших варіантів закріплення крайніх твірних і визначена її чутливість до викривлень форми.

4. Встановлено, що незалежно від можливих варіантів кріплення по контуру циліндрична сітчаста оболонка покриття мало чутлива до недосконалостей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лебедев В. А., Лубо Л. Н. Сетчатые оболочки в гражданском строительстве на севере. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. — 136 с.
2. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа — сетчатых оболочек / ЛенЗНИИЭП. — Л., 1971. — 63 с.
3. Гоцуляк Е. А., Сиянов А. И. Устойчивость и нелинейное деформирование цилиндрических сетчатых оболочек покрытия // Прикл. механика. — 2004. — 40, № 4. — С. 78 — 83.
4. Свердлов В. Д., Сиянов О. И., Бойчук О. Д. Проблема стійкості одношарових циліндричних стержневих покриттів // Современные строительные конструкции из металла и древесины. — Одесса: ОГАСА, 1999. — С. 169 — 174.
5. Баженов В. А., Гуляев В. И., Гоцуляк Е. А. и др. Расчет на устойчивость оболочек сложной формы // Методические указания по использованию комплекса программ МЕКРИС-2. — К.: КИСИ, 1987. — 134 с.
6. Gotsulyak E. A., Prusov D. E. Numerical Study of the Stability of Geometrically Imperfect Shells of General Form // Int. Appl. Mech. — 1999. — 35. — No 6. — P. 610 — 613.
7. Grigorenko Ya. V., Savula Ya. G., Mukha I. S. Linear and Nonlinear Problems on the Elastic Deformation of Complex Shells and Methods of Their Numerical Solution // Int. Appl. Mech. — 2000. — 36. — No 8. — P. 979 — 1000.
8. Абовский Н. П., Деруга А. П. Основные результаты и направления развития вариационно-разностного метода в расчетах сложных оболочечно-стержневых конструкций // Пространственные конструкции в Красноярском крае: — Красноярск: Изд-во КИСИ, 1989. — С. 13 — 26.
9. Гоцуляк Е. А., Ермишев В. Н., Жадрасинов Н. Т. Применение метода криволинейных сеток к расчету оболочек. — К., 1980. — 23 с. — (Рукопись деп. в УкрНИИИТИ 06.01.81 № 2557-81).
10. Гоцуляк Е. А. О сеточной дискретизации векторных соотношений теории оболочек в криволинейной системе координат // Прикл. механика. — 2001. — 37. — № 6. — С. 89 — 94.
11. Gotsulyak E. A., Kostina E. V. Vector relations finite element digitization of the theory of thin shells of arbitrary form // Proc. Int. Congr. ICSS-98. — Moscow, 1998. — P. 252 — 259.
12. Гоцуляк Е. О., Сиянов О.И. Загальна стійкість одношарових циліндричних стержневих покриттів // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2002. — № 1. — С. 13 — 18.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 23.11.06
Рекомендована до друку 1.02.07

Сіянов Олександр Ілліч — доцент кафедри промислового та цивільного будівництва.

Вінницький національний технічний університет