

21. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНОПЛАСТИЧНОГО СТАНУ СФЕРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ З ДЕКІЛЬКОМА ОТВОРАМИ

Анатолій Богатирчук

Національний університет харчових технологій

Ірина Руденко

Національний університет державної податкової служби України

Євген Сторожук, Іван Чернишенко

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

Вступ. Значний інтерес для інженерної практики представляє проведення розрахунків на міцність елементів тонкостінних конструкцій, несучі поверхні яких є багатозв'язними областями. Досить часто вказані елементи виготовляють у вигляді сферичних оболонок, послаблених двома або декількома криволінійними отворами.

Основні результати дослідження напружено-деформованого стану навколо криволінійних отворів у сферичних оболонках отримані при вісесиметричному їх деформуванні. Результати розв'язання лінійних, фізично і геометрично нелінійних задач для сферичних оболонок з центральним круговим отвором наведені в узагальнюючій монографії [1].

Дослідженню невісесиметричного деформування сферичних оболонок, послаблених декількома криволінійними отворами, з врахуванням реальних властивостей конструкційних матеріалів (фізичної нелінійності) і скінченних прогинів (геометричної нелінійності) присвячена незначна кількість робіт. Так, розподіл напружень за межею пружності в багатозв'язній сферичній оболонці вивчено лише для випадку двох [2] і чотирьох [3] кругових отворів.

Постановка задачі. Нехай тонка сферична оболонка радіуса R і товщини h з круговими отворами займає в плані багатозв'язну область (Σ) . Введемо в області (Σ) декартову (x, y) і полярну (r, θ) системи координат з початком в центрі одного з отворів. Вважаємо, що інтенсивність навантаження (поверхневих і крайових сил), геометричні і фізико-механічні параметри такі, що в оболонці виникають пластичні деформації її матеріалу.

Зв'язок компонент деформації оболонки $(\varepsilon_{ij}, \mu_{ij})$ і вектора переміщень (\vec{u}) запишемо на основі теорії непологих оболонок і гіпотез Кірхгофа-Лява.

Вважаючи, що навантаження просте, при дослідженні деформування сферичних оболонок за межею пружності будемо користуватися співвідношеннями теорії малих пружнопластичних деформацій.

Систему нелінійних рівнянь, що описують пружнопластичний стан багатозв'язної сферичної оболонки, отримуємо з умов стаціонарності змішаного функціоналу, в якому гіпотези Кірхгофа-Лява реалізовані за допомогою множників Лагранжа. Методика розв'язання нелінійних рівнянь базується на використанні методу додаткових напружень в поєднанні з варіаційним векторно-різницевим методом (ВВРМ).

Результати. Дослідимо розподіл переміщень, деформацій і напружень в циклічно симетричній багатозв'язній сферичній оболонці, послабленій шістьма однаковими круговими отворами радіуса r_0 , центри яких розміщені на колі радіуса ρ на однаковій віддалі один від одного. Оболонка виготовлена із сплаву АМг-6 і знаходиться під дією внутрішнього тиску $p = p_0 \cdot 10^5$ Па.

Розрахунки проведені для оболонки з такими параметрами:

$$R/h = 400; \quad r_0/h = 30; \quad \rho/r_0 = 2, 3; 2, 4; 2, 5; 3, 0; 4, 1 \quad (d/r_0 = 0, 3; 0, 4; 0, 5; 1, 0; 2, 1),$$

де d - довжина перемички.

Прийнято, що отвори закриті кришками, які передають на їх контури лише дію перерізувальних зусиль $Q_k = pr_0/2$.

Конкретні числові результати розв'язання лінійних і фізично нелінійних задач (ЛЗ і ФНЗ) отримані для внутрішнього тиску інтенсивності $p_0 = 2, 5$.

Дослідження показали, що для даної оболонки при невеликій довжині перемички і дії внутрішнього тиску найбільші напруження ($\sigma_{\max} = \sigma_{\max}^0 \cdot 10^5$ Па) мають місце на контурах отворів в точках, які розташовані в перерізах ($r = r_0; \theta = 127,5^\circ$) на зовнішній поверхні оболонки, а найбільші прогини - в точках ($r = r_0; \theta = 127,5^\circ$) для лінійно-пружної стадії деформування та в точках ($r = r_0; \theta = 150^\circ$) для пружнопластичної стадії деформування. При зменшенні довжини перемички (або радіуса кола, на якому розташовані центри отворів) найбільші напруження і прогини зростають: від значень $\sigma_{\max}^0 = 3249$ і $w_{\max}/h = 1,057$ при $d/r_0 = 2$ до $\sigma_{\max}^0 = 5304$ і $w_{\max}/h = 1,502$ при $d/r_0 = 0,3$ для ЛЗ; від $\sigma_{\max}^0 = 1789$ і $w_{\max}/h = 1,573$ при $d/r_0 = 2$ до $\sigma_{\max}^0 = 3103$ і $w_{\max}/h = 8,78$ при $d/r_0 = 0,3$ для ФНЗ. Аналіз отриманих числових результатів свідчить, що у випадку циклічно симетричних задач для багатозв'язних сферичних оболонок при $d/r_0 \geq 2$ ($\rho/r_0 \geq 4$) взаємним впливом контурів отворів можна знехтувати.

Висновки. Отже, в роботі розвинуто ВВРМ для розрахунку багатозв'язних тонких сферичних оболонок, послаблених криволінійними отворами, з врахуванням пластичних деформацій їх матеріалу, який базується на реалізації гіпотез Кірхгофа-Лява за допомогою множників Лагранжа. Досліджено пружнопластичний стан циклічно симетричної сферичної оболонки з шістьма круговими отворами. Представляє інтерес отримання числових результатів для непружних оболонок, послаблених двояко періодичною решіткою однакових кругових отворів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гузь, А.Н. Теория тонких оболочек, ослабленных отверстиями / А.Н.Гузь, И.С. Чернышенко, Вал.Н. Чехов и др. – К.: Наук.думка, 1980. – 636 с.
2. Руденко, І.Б. Рівновага пружнопластичної сферичної оболонки з двома різними круговими отворами // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: збірник наукових праць ДНУ. – 2011. – № 15. – С. 156 – 161.
3. Сторожук, Е.А. Упругопластическое состояние сферических оболочек с циклически-симметрично расположенными круговыми отверстиями / Е.А. Сторожук, И.С. Чернышенко, И.Б. Руденко // Прикл. механика. – 2012. – Т. 48, № 5. – С. 102 – 111.