
doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.10.041>

УДК 539.3

І.С. Чернишенко, І.Б. Руденко, Є.А. Сторожук

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ

E-mail: stevan@ukr.net

Концентрація напружень в пружнопластичній сферичній оболонці з рядом однакових кругових отворів

Представлено членом-кореспондентом НАН України І.С. Чернишенком

Дано постановку періодичних задач статички для пружнопластичної сферичної оболонки з рядом однакових кругових отворів. Розроблено методику чисельного розв'язання даного класу нелінійних задач, яка базується на використанні методу додаткових напружень і варіаційного векторно-різницевого методу. Досліджено вплив пластичних деформацій і геометричних параметрів на напружено-деформований стан сферичної оболонки з рядом отворів при дії рівномірного внутрішнього тиску.

Ключові слова: сферична оболонка, ряд кругових отворів, пластичність, варіаційний векторно-різницевий метод, статичне навантаження.

Тонкі сферичні оболонки з криволінійними отворами, серединні поверхні яких є багатозв'язними областями, широко застосовуються в сучасній інженерній практиці. Більшість результатів з дослідження напружено-деформованого стану (НДС) навколо отворів в оболонках даного класу отримана для лінійно-пружної стадії їх деформування і опублікована в монографіях [1, 2]. Зауважимо, що постановка і метод розв'язання лінійно-пружних задач для багатозв'язних областей вперше дані О.М. Гузем [3].

Підвищений інтерес викликають нелінійні задачі концентрації напружень в сферичній оболонці з двома або більшою кількістю отворів. Розв'язанню даного класу задач для сферичних оболонок присвячена незначна кількість робіт. Так, розподіл напружень в багатозв'язній сферичній оболонці з декількома отворами при врахуванні нелінійних факторів вивчено лише для випадку двох кругових отворів [4] та циклічно симетричної сферичної оболонки, ослабленої круговими отворами [5, 6].

Нижче дано постановку фізично нелінійних задач для ізотропних сферичних оболонок з рядом однакових кругових отворів, наведено основні нелінійні рівняння, розвинуто методику чисельного розв'язання даного класу задач і представлено конкретні числові результати дослідження пружнопластичного стану сферичної оболонки, ослабленої рядом кругових отворів і навантаженої рівномірним внутрішнім тиском.

© І.С. Чернишенко, І.Б. Руденко, Є.А. Сторожук, 2017

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2017. № 10

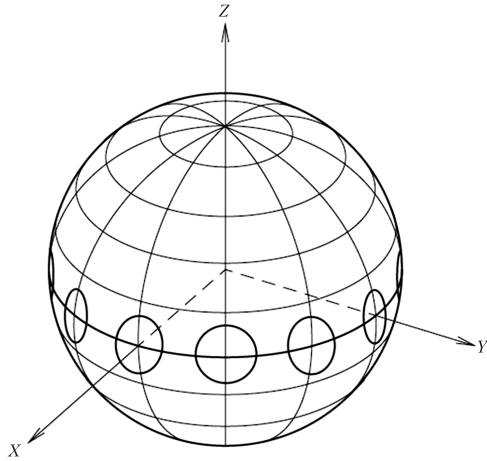


Рис. 1

Постановка задачі. Розглянемо тонку багато-зв'язну сферичну оболонку радіуса R і товщини h , що ослаблена рядом однакових кругових отворів радіуса r_0 , центри яких розміщені періодично (рис. 1), тобто на однаковій відстані один від одного, за однакових крайових умов на кожному з контурів. Вважаємо, що в оболонці під дією рівномірного внутрішнього тиску $q = \text{const}$ значної інтенсивності виникають пластичні деформації її матеріалу.

Віднесемо серединну поверхню оболонки до ортогональної системи координат (α_1, α_2) , а вздовж її нормалі \vec{n} направимо координату γ . Рівняння серединної поверхні запишемо в глобальній декартовій системі координат (X, Y, Z) у параметричній формі

$$\vec{r}(\alpha_1, \alpha_2) = X(\alpha_1, \alpha_2)\vec{i} + Y(\alpha_1, \alpha_2)\vec{j} + Z(\alpha_1, \alpha_2)\vec{k}, \quad (1)$$

де \vec{r} – радіус-вектор точки серединної поверхні оболонки; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – орти системи координат (X, Y, Z) .

Зауважимо, що для оболонки з рядом отворів область (Σ) зміни координат параметризації серединної поверхні (α_1, α_2) є складною, в ній не всі контурні лінії збігаються з координатними лініями. Для отримання різницевих рівнянь розбиваємо область (Σ) на K криволінійних чотирикутних фрагментів (Σ_k) , параметризація яких здійснюється за допомогою складеної функції локальних координат (ξ_1, ξ_2) [7].

Основні співвідношення, що описують пружнопластичний стан сферичної оболонки з рядом отворів, представимо в косокутній системі координат (ξ_1, ξ_2) на основі теорії тонких оболонок, в якій справедливі гіпотези Кірхгофа–Лява.

Вирази для компонент деформації оболонки запишемо у векторній формі [8]:

$$\varepsilon_{mn} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial \xi_m} \cdot \vec{r}_n + \frac{\partial \vec{u}}{\partial \xi_n} \cdot \vec{r}_m \right); \quad \mu_{mn} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \vec{\phi}}{\partial \xi_m} \cdot \vec{r}_n + \frac{\partial \vec{\phi}}{\partial \xi_n} \cdot \vec{r}_m \right), \quad (2)$$

де $\vec{u} = u_1 \vec{r}^1 + u_2 \vec{r}^2 + w \vec{n}$ – вектор переміщення; \vec{r}_1, \vec{r}_2 і \vec{r}^1, \vec{r}^2 – вектори основного і взаємного базисів системи координат (ξ_1, ξ_2) ; $\vec{\phi} = \phi_1 \vec{r}^1 + \phi_2 \vec{r}^2$ – вектор кутів повороту нормалі, які визначаються за формулами: $\phi_m = -\frac{\partial \vec{u}}{\partial \xi_m} \cdot \vec{n}$. Тут і нижче латинські індекси приймають значення 1, 2, якщо не обумовлені інші значення.

Нелінійні фізичні співвідношення подамо на основі теорії малих пружнопластичних деформацій в такому вигляді:

$$\sigma^{mn} = \sigma_{(0)}^{mn} + \sigma_{(p)}^{mn}; \quad \sigma_{(0)}^{mn} = C^{mnkl} e_{kl}; \quad \sigma_{(p)}^{mn} = C_{(p)}^{mnkl} e_{kl};$$

$$C^{mnkl} = \frac{2G}{1-\nu} [\nu a^{mn} a^{kl} + (1-\nu) a^{mk} a^{nl}]; \quad e_{kl} = \varepsilon_{kl} + \gamma \mu_{kl}; \quad (3)$$

$$C_{(p)}^{mnlk} = 2G \left\{ \left[\frac{(1-\omega_i)v_i}{1-v_i} - \frac{v}{1-v} \right] a^{mn} a^{kl} - \omega_i a^{mk} a^{nl} \right\},$$

де C^{mnlk} – тензор пружності плоского напруженого стану; G, v – модуль зсуву і коефіцієнт Пуассона матеріалу оболонки; ω_i, v_i – функція пластичності і змінний коефіцієнт поперечної деформації; a^{mn} – контраваріантні компоненти основного метричного тензора; величини з індексами “0” і “p” знизу відповідають лінійній і нелінійній частинам компонент тензора напружень.

Для внутрішніх зусиль і моментів з врахуванням рівностей (3) маємо вирази:

$$T^{mn} = T_{(0)}^{mn} + T_{(p)}^{mn}; \quad M^{mn} = M_{(0)}^{mn} + M_{(p)}^{mn};$$

$$T_{(0)}^{mn} = B^{mnlk} \varepsilon_{kl}; \quad M_{(0)}^{mn} = D^{mnlk} \mu_{kl}; \quad T_{(p)}^{mn} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{(p)}^{mn} d\gamma; \quad M_{(p)}^{mn} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{(p)}^{mn} \gamma d\gamma. \quad (4)$$

Тут $B^{mnlk} = hC^{mnlk}$, $D^{mnlk} = C^{mnlk} h^3 / 12$ – тензори пружних сталей для мембранних і згинних зусиль.

Методика чисельного розв’язання фізично нелінійних задач для сферичної оболонки, ослабленої рядом кругових отворів. Вихідним для отримання системи нелінійних рівнянь, що описують пружнопластичний стан сферичної оболонки з рядом отворів, є варіаційне рівняння принципу можливих переміщень. Фізично нелінійну задачу розв’язуємо методом додаткових напружень. Вважаючи, що нелінійні складові внутрішніх зусиль $T_{(p)}^{mn}$ і моментів $M_{(p)}^{mn}$ відомі з попереднього наближення і не варіюються, та реалізуючи геометричні гіпотези Кірхгофа–Лява методом множників Лагранжа, отримуємо такий змішаний функціонал лінеаризованої задачі [8]:

$$\begin{aligned} \Pi^{mn} = & \sum_{k=1}^K \left[\frac{1}{2} \iint_{\Sigma_k} (B^{mnlk} \varepsilon_{st} \varepsilon_{mn} + D^{mnlk} \mu_{st} \mu_{mn}) d\Sigma + \right. \\ & \left. + \iint_{\Sigma_k} (T_{(p)}^{mn} \varepsilon_{mn} + M_{(p)}^{mn} \mu_{mn} + T^{m3} \varepsilon_{m3}) d\Sigma \right] - A_p, \end{aligned} \quad (5)$$

де A_p – робота зовнішніх сил; T^{m3} – множники Лагранжа; ε_{m3} – вирази виду:

$$\varepsilon_{m3} = \bar{\phi} \cdot \frac{\partial \bar{r}}{\partial \xi_m} + \bar{n} \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial \xi_m}.$$

Лінеаризована задача розв’язується за допомогою варіаційного векторно-різницевого методу (ВВРМ). В цьому випадку область (Σ_k) зміни локальних координат (ξ_1, ξ_2) покриваємо основною (i, j) і допоміжною ($i+1/2, j+1/2$) системами сіток з кроками λ_1 і λ_2 вздовж координатних ліній ξ_1 і ξ_2 , у виразі (5) для змішаного функціоналу переходимо від диференціювання до скінченних різниць і від інтегрування – до підсумовування за формулою прямокутників.

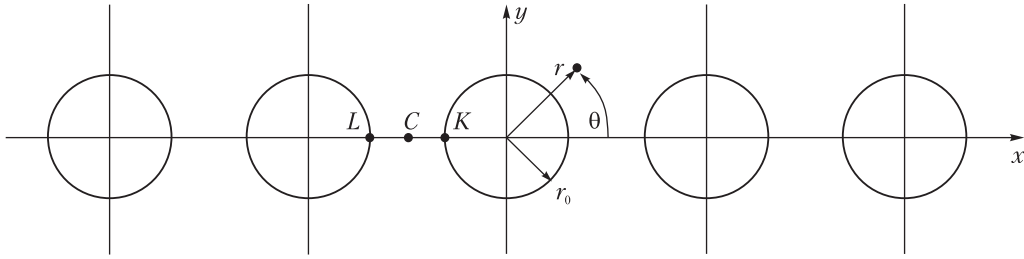


Рис. 2

Деформації оболонки обчислюються наближено за скінченно-різницевиими формулами:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{11} \Big|_{i+\frac{1}{2}, j} &= \frac{\bar{u}_{i+1, j} - \bar{u}_{i, j}}{\lambda_1} \cdot \bar{r}_1 \Big|_{i+\frac{1}{2}, j}; & \varepsilon_{22} \Big|_{i, j+\frac{1}{2}} &= \frac{\bar{u}_{i, j+1} - \bar{u}_{i, j}}{\lambda_2} \cdot \bar{r}_2 \Big|_{i, j+\frac{1}{2}}; \\
 \varepsilon_{12} \Big|_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} &= \frac{1}{4} \left(\frac{\bar{u}_{i+1, j} - \bar{u}_{i, j}}{\lambda_1} \cdot \bar{r}_2 \Big|_{i+\frac{1}{2}, j} + \frac{\bar{u}_{i+1, j+1} - \bar{u}_{i, j+1}}{\lambda_1} \cdot \bar{r}_2 \Big|_{i+\frac{1}{2}, j+1} \right) + \\
 &+ \frac{1}{4} \left(\frac{\bar{u}_{i, j+1} - \bar{u}_{i, j}}{\lambda_2} \cdot \bar{r}_1 \Big|_{i, j+\frac{1}{2}} + \frac{\bar{u}_{i+1, j+1} - \bar{u}_{i+1, j}}{\lambda_2} \cdot \bar{r}_1 \Big|_{i+1, j+\frac{1}{2}} \right); & (6) \\
 \mu_{11} \Big|_{i+\frac{1}{2}, j} &= \frac{\bar{\phi}_{i+1, j} - \bar{\phi}_{i, j}}{\lambda_1} \cdot \bar{r}_1 \Big|_{i+\frac{1}{2}, j}; & \mu_{22} \Big|_{i, j+\frac{1}{2}} &= \frac{\bar{\phi}_{i, j+1} - \bar{\phi}_{i, j}}{\lambda_2} \cdot \bar{r}_2 \Big|_{i, j+\frac{1}{2}}; \\
 \mu_{12} \Big|_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} &= \frac{1}{4} \left(\frac{\bar{\phi}_{i+1, j} - \bar{\phi}_{i, j}}{\lambda_1} \cdot \bar{r}_2 \Big|_{i+\frac{1}{2}, j} + \frac{\bar{\phi}_{i+1, j+1} - \bar{\phi}_{i, j+1}}{\lambda_1} \cdot \bar{r}_2 \Big|_{i+\frac{1}{2}, j+1} \right) + \\
 &+ \frac{1}{4} \left(\frac{\bar{\phi}_{i, j+1} - \bar{\phi}_{i, j}}{\lambda_2} \cdot \bar{r}_1 \Big|_{i, j+\frac{1}{2}} + \frac{\bar{\phi}_{i+1, j+1} - \bar{\phi}_{i+1, j}}{\lambda_2} \cdot \bar{r}_1 \Big|_{i+1, j+\frac{1}{2}} \right).
 \end{aligned}$$

Інтеграли у функціоналі (5) замінюються сумами за схемою:

$$\begin{aligned}
 \iint_{\Sigma_k} (...) d\Sigma &= \sum_{i=1}^{I_k-1} \sum_{j=1}^{J_k} \left[\frac{1}{2} (B^{1111} \varepsilon_{11}^2 + D^{1111} \mu_{11}^2) + T_{(p)}^{11} \varepsilon_{11} + M_{(p)}^{11} \mu_{11} + T^{1\gamma} \varepsilon_{13} \right] \omega \Big|_{i+\frac{1}{2}, j} + \\
 &+ \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_k-1} \left[\frac{1}{2} (B^{2222} \varepsilon_{22}^2 + D^{2222} \mu_{22}^2) + T_{(p)}^{22} \varepsilon_{22} + M_{(p)}^{22} \mu_{22} + T^{2\gamma} \varepsilon_{23} \right] \omega \Big|_{i, j+\frac{1}{2}} + & (7) \\
 &+ \sum_{i=1}^{I_k-1} \sum_{j=1}^{J_k-1} \left[2(B^{1212} \varepsilon_{12}^2 + B^{1112} \varepsilon_{11} \varepsilon_{12} + B^{1222} \varepsilon_{12} \varepsilon_{22} + D^{1212} \mu_{12}^2 + D^{1112} \mu_{11} \mu_{12} + \right. \\
 &\left. + D^{1222} \mu_{12} \mu_{22} + T_{(p)}^{12} \varepsilon_{12} + M_{(p)}^{12} \mu_{12}) + B^{1122} \varepsilon_{11} \varepsilon_{22} + D^{1122} \mu_{11} \mu_{22} - \bar{p} \cdot \bar{u} \right] \omega \Big|_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} \Big\},
 \end{aligned}$$

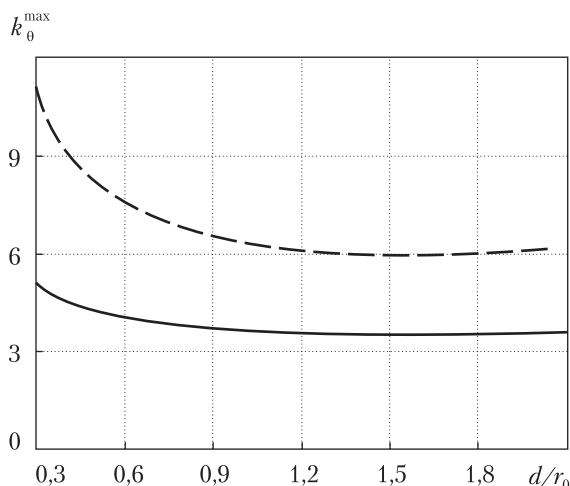


Рис. 3

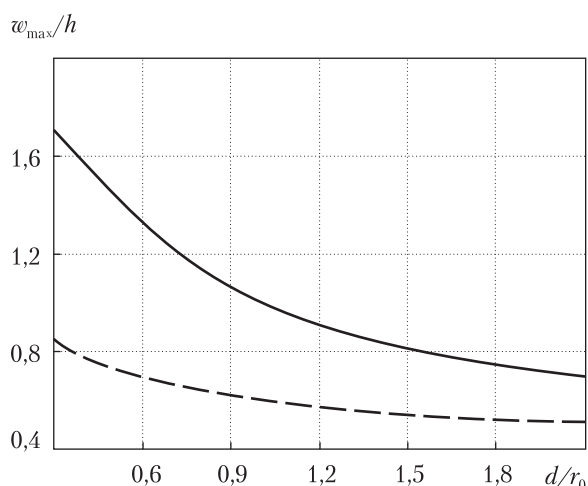


Рис. 4

d/r_0	Задача	ζ	σ_0^0				
			$\theta = 0^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 90^\circ$
0,3	ЛЗ	0,5	5592	2720	2388	2700	3015
		-0,5	2814	2016	2105	2259	2231
	ФНЗ	0,5	2516	1817	1634	1728	1772
		-0,5	2299	1854	1744	1709	1692
2,0	ЛЗ	0,5	3088	3132	3132	3124	3104
		-0,5	1842	1809	1750	1695	1635
	ФНЗ	0,5	1750	1760	1757	1755	1750
		-0,5	1561	1558	1545	1533	1516

де $\omega(\xi_1, \xi_2)$ – частина елемента площі ($\sqrt{a}\lambda_1\lambda_2$) з центром у точці (ξ_1, ξ_2) , яка належить фрагменту (Σ_k) ; a – дискримінант основного метричного тензора; \vec{p} – вектор поверхневих сил.

З умов стаціонарності дискретного аналога функціоналу (5) отримаємо систему різних рівнянь, яка у вузлі (i, j) , що належить лише одному фрагменту, має вигляд:

$$\sum_{s=i-1}^{i+1} \sum_{t=j-1}^{j+1} \sum_{n=1}^7 a_{m,n}(s,t) f_n(s,t) = V_m(i,j) + \Omega_m(i,j) \quad (m=1, 2, \dots, 7). \quad (8)$$

Тут $a_{m,n}(s,t)$ – змінні коефіцієнти; $f_n(s,t)$ – розв’язувальні функції; $V_m(i,j)$ – узагальнені вузлові навантаження; $\Omega_m(i,j)$ – нелінійні члени, що враховують пластичні деформації матеріалу оболонки.

Числові результати. Дослідимо пружнопластичний стан сферичної оболонки з рядом однакових кругових отворів (рис. 2), яка виготовлена зі сплаву АМг-6 [1] і знаходиться під дією внутрішнього тиску інтенсивності $q = 5 \cdot 10^5$ Па.

Розрахунки проведені для оболонки з параметрами: $R/h = 200$; $r_0/h = 20$; $0,3 \leq d/r_0 \leq 2,1$, де d – довжина перемички КЛ.

В таблиці наведені значення кругових напружень ($\sigma_\theta = \sigma_\theta^0 \cdot 10^5$ Па) в декількох точках контуру отвору ($r = r_0$; $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) на зовнішній ($\zeta = \gamma/h = 0,5$) і внутрішній ($\zeta = -0,5$) поверхнях оболонки. Дані представлені для двох значень довжини перемички $d/r_0 = 0,3$ і $d/r_0 = 2$ як для лінійної (ЛЗ), так і фізично нелінійної (ФНЗ) задач.

Залежність максимальних значень коефіцієнта концентрації кругових напружень ($k_\theta^{\max} = 2\sigma_\theta^{\max} h/qR$) і відносних прогинів (w_{\max}/h) від довжини перемички показана на рис. 3 і 4, де результати розв'язання ЛЗ зображені штриховими, а ФНЗ – суцільними кривими.

Таким чином, представлені результати показують, що при невеликій довжині перемички найбільш небезпечними є точки на контурах отворів, які розташовані в перерізах ($r = r_0$; $\theta = 0^\circ$) на зовнішній поверхні оболонки, де діють найбільші напруження. Врахування пластичних деформацій матеріалу оболонки сприяє зменшенню максимальних напружень в порівнянні з результатами лінійно-пружного розв'язку на 55 % при $d/r_0 = 0,3$ і на 44 % при $d/r_0 = 2$. Крім цього, максимальні прогини для ФНЗ більші за відповідні дані ЛЗ на 103 % при $d/r_0 = 0,3$ і на 39 % при $d/r_0 = 2$. При зменшенні довжини перемички найбільші коефіцієнти концентрації напружень і прогини зростають: від значень $k_\theta^{\max} = 6,18$ і $w_{\max}/h = 0,5111$ при $d/r_0 = 2$ до $k_\theta^{\max} = 11,18$ і $w_{\max}/h = 0,837$ при $d/r_0 = 0,3$ для ЛЗ; від $k_\theta^{\max} = 3,51$ і $w_{\max}/h = 0,7086$ при $d/r_0 = 2$ до $k_\theta^{\max} = 5,03$ і $w_{\max}/h = 1,702$ при $d/r_0 = 0,3$ для ФНЗ. Аналіз отриманих числових результатів свідчить про те, що у випадку сферичних оболонок з рядом однакових періодично розміщених отворів при $d/r_0 \geq 2$ взаємним впливом контурів отворів можна знехтувати.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гузь А.Н., Чернышенко И.С., Шнеренко К.И. Сферические днища, ослабленные отверстиями. Киев: Наук. думка, 1970. 324 с.
2. Гузь А.Н., Чернышенко И.С., Чехов Вал. Н., Чехов Вик. Н., Шнеренко К.И. Методы расчета оболочек. Т.1. Теория тонких оболочек, ослабленных отверстиями. Киев: Наук. думка, 1980. 636 с.
3. Гузь А.Н. О решении задач для пологой сферической оболочки в случае многосвязных областей. Докл. АН СССР. 1964. **158**, №16. С. 1281–1284.
4. Гузь А.Н., Сторожук Е.А., Чернышенко И.С. Неупругое деформирование гибких сферических оболочек, ослабленных двумя круговыми отверстиями. Прикл. механика. 2004. **40**, № 6. С. 90–98.
5. Сторожук Е.А., Чернышенко И.С., Руденко И.Б. Упругопластическое состояние сферических оболочек с циклически-симметрично расположенными круговыми отверстиями. Прикл. механика. 2012. **48**, № 5. С. 102–111.
6. Сторожук Є.А., Чернищенко І.С., Руденко І.Б. Вплив пластичних деформацій на концентрацію напружень в багатозв'язній сферичній оболонці. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. 2012. Вип.18. С. 183–188.
7. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. Москва: Мир, 1986. 318 с.
8. Максимюк В.А., Сторожук Е.А., Чернышенко И.С. Решение нелинейных задач статики тонких оболочек сеточными методами. Прикл. механика. 2009. **45**, № 1. С. 41–70.

Надійшло до редакції 19.05.2017

REFERENCES

1. Guz, A. N., Chernyshenko, I. S. & Shnerenko, K. I. (1970). Spherical bottoms weakened by holes. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
2. Guz, A. N., Chernyshenko, I. S., Chekhov, Val. N., Chekhov, Vik. N. & Shnerenko, K. I. (1980). Calculation methods shells. (vol. 1) Theory of thin shells weakened by holes. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
3. Guz, A. N. (1964). The solution of problems for shallow spherical shell in the case of multiply areas. Dokl. AN SSSR, 158, No. 16, pp. 1281-1284 (in Russian).
4. Guz, A. N., Storozhuk, E. A. & Chernyshenko, I. S. (2004). Inelastic deformation of flexible spherical shells with two circular openings. Prikl. mekhanika, 40, No. 6, pp. 90-98 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.1023/B:INAM.0000041395.63200.aa>
5. Storozhuk, E. A., Chernyshenko, I. S. & Rudenko, I. B. (2012). Elastoplastic state of spherical shells with cyclically symmetric circular holes. Prikl. mekhanika, 48, No. 5, pp. 102-111 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.1007/s10778-012-0539-5>
6. Storozhuk, E. A., Chernyshenko, I. S. & Rudenko I. B. (2012). Influence of plastic deformation on the stress concentration in a multiply connected spherical shell. Problemy obchysliuvalnoi mekhaniky i mitsnosti konstruksii, No. 18, pp. 183-188 (in Ukrainian).
7. Zienkiewick, O. & Morgan, K. (1986). Finite Elements and Approximation. Moskow: Mir (in Russian).
8. Maksimuk, V. A., Storozhuk, E. A. & Chernyshenko, I. S. (2009). Using mesh-based methods to solve nonlinear problems of statics for thin shells. Prikl. mekhanika, 45, No. 1, pp. 41-70 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.1007/s10778-009-0166-y>

Received 19.05.2017

И.С. Чернышенко, И.Б. Руденко, Е.А. Сторожук

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, Киев

E-mail: stevan@ukr.net

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ
В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ
С РЯДОМ ОДИНАКОВЫХ КРУГОВЫХ ОТВЕРСТИЙ

Дана постановка периодических задач статики для упругопластической сферической оболочки с рядом одинаковых круговых отверстий. Разработана методика численного решения данного класса нелинейных задач, основанная на использовании метода дополнительных напряжений и вариационного векторно-разностного метода. Исследовано влияние пластических деформаций и геометрических параметров на напряженно-деформированное состояние сферической оболочки с рядом отверстий при действии равномерного внутреннего давления.

Ключевые слова: сферическая оболочка, ряд круговых отверстий, пластичность, вариационный векторно-разностный метод, статическая нагрузка.

I.S. Chernyshenko, I.B. Rudenko, E.A. Storozhuk

S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: stevan@ukr.net

THE STRESS CONCENTRATION IN AN ELASTOPLASTIC SPHERICAL SHELL
WITH A NUMBER OF IDENTICAL CIRCULAR HOLES

The statement of periodic static problems for an elastoplastic spherical shell with a number of identical circular holes is given. A technique for the numerical solution of a given class of nonlinear problems is developed, based on the use of the method of additional stresses and the variational vector-difference method. The effect of plastic deformations and geometric parameters on the stress-strain state of a spherical shell with a number of holes under the action of a uniform internal pressure is investigated.

Keywords: spherical shell, a number of circular holes, plasticity, variational vector-difference method, static load.