

УДК 539.3
UDC 539.3

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТОВСТИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК
ПІД ДІЄЮ ЛОКАЛЬНИХ ДОТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ
ЗА РІЗНИХ УМОВ ЗАКРІПЛЕННЯ КОНТУРА

Марчук О.В., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна
Рассказов О.О., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ,
Україна

Гнедаш С.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Левківський С.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна

THICK CYLINDRICAL SHEATH STRESS STRAIN BEHAVIOR UNDER THE INFLUENCE
OF LOCAL SHEARING STRESS LOAD AT DIFFERENT CONTOUR FITTING CONDITIONS

Marchuck O.V., Eng.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Raskazov O.O., Eng.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Gnedash S.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Levkivskiy S.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОЛСТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
ОБОЛОЧЕК ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ КАСАТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК
ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАКРЕПЛЕНИЕ КОНТУРА

Марчук А.В., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина

Рассказов А.О., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина

Гнедаш С.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Левковский С.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

При розрахунку товстих оболонок виникає необхідність урахування зміни кривизни по товщині на рівні побудови рівнянь рівноваги і їх розв'язання, що є достатньо складною задачею. В переважній більшості відомих моделей розрахунку кривизна вважається константою і приймається на рівні серединної поверхні. Перелік таких робіт можна знайти в оглядах Григоренко Я.М. і його співавторів [1-5], Гузя А.Н., Чернишенко И.С., Шнеренко К.И. [6], Немиша Ю.Н., Хоми И.Ю. [7] і ін.

В публікаціях практично відсутні роботи по розрахунку товстих оболонок великої кривизни за різних граничних умов, з розміром площі навантаження сумірної з товщиною оболонки.

В даній статті представлено до розгляду підхід, який дозволяє розглядати напружено-деформований стан товстих оболонок великої кривизни в умовах осесиметричного згину. Підхід засновано на розділенні циліндричної оболонки по товщині концентричними поверхнями на ряд складових циліндричних оболонок, достатньо тонких, щоб можна було нехтувати зміною їх кривизни по товщині. Задовольняючи умовам контакту на зовнішніх поверхнях між складовими оболонками, описуємо напружено-деформований стан заданої оболонки з дискретним урахуванням зміни кривизни по товщині. Для апроксимації шуканих функцій і по товщині, і в плані притягуються поліноми.

Компоненти тензора деформацій циліндричної оболонки в умовах осесиметричної деформації визначаються на основі наступних співвідношень (вісь x направлена уподовж твірної оболонки):

$$e_{xx}^{(k)} = \frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x}; e_{\theta\theta}^{(k)} = \frac{1}{r} U_r^{(k)}; e_{rr}^{(k)} = \frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial r}; 2e_{xr}^{(k)} = \frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial r} + \frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial x}. \quad (1)$$

Напруження записані на основі закону Гука.

$$\begin{aligned}
\sigma_{xx}^{(k)} &= C_{xx} \frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x} + C_{x\theta} \frac{1}{r} U_r^{(k)} + C_{xr} \frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial r}; \\
\sigma_{\theta\theta}^{(k)} &= C_{\theta x}^{(k)} \frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x} + C_{\theta\theta}^{(k)} \frac{1}{r} U_r^{(k)} + C_{\theta r}^{(k)} \frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial r}; \\
\sigma_{rr}^{(k)} &= C_{rx}^{(k)} \frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x} + C_{r\theta}^{(k)} \frac{1}{r} U_r^{(k)} + C_{rr}^{(k)} \frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial r}; \\
\sigma_{xr}^{(k)} &= G_{xr}^{(k)} \left(\frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial r} + \frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial x} \right);
\end{aligned} \tag{2}$$

Введемо наступну апроксимацію шуканих переміщень [8]:

$$\begin{aligned}
U_x^{(k)}(x,r) &= U_l^{(k)}(x) f_l^{(k)}(r) + \frac{\partial}{\partial x} W_p^{(k)}(x) \varphi_p^{(k)}(r); \\
U_r^{(k)}(x,r) &= W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r) \quad (l=1,2; p=1,2,3),
\end{aligned} \tag{3}$$

де $U_1^{(k)}(x), U_2^{(k)}(x)$ – тангенціальні переміщення на лицьових поверхнях конструкції;

$W_1^{(k)}, W_2^{(k)}$ – нормальні переміщення на лицьових поверхнях конструкції, $W_3^{(k)}$ – функція зсуву;

$f_1^{(k)}(r), f_2^{(k)}(r), \beta_1^{(k)}(r), \beta_2^{(k)}(r)$ – задані поліноми першої степені;

$\varphi_1^{(k)}(r), \varphi_2^{(k)}(r), \beta_3^{(k)}(r)$ – другої степені; $\varphi_3^{(k)}(r)$ – третьої степені.

Варіація потенційної енергії деформації з урахуванням введеної апроксимації за товщиною має вигляд:

$$\begin{aligned}
\delta\Pi &= \int_0^L \int_{a_{k-1}}^{a_k} \left\{ [C_{xx} \frac{\partial(U_l^{(k)}(x) f_l^{(k)}(r) + \frac{\partial}{\partial x} W_p^{(k)}(x) \varphi_p^{(k)}(r))}{\partial x} + \right. \\
&+ (C_{x\theta} \frac{1}{r} + C_{xr} \frac{\partial}{\partial r}) W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r)] \delta \frac{\partial(U_l^{(k)}(x) f_l^{(k)}(r) + \frac{\partial}{\partial x} W_p^{(k)}(x) \varphi_p^{(k)}(r))}{\partial x} + \\
&+ [C_{\theta x} \frac{\partial(U_l^{(k)}(x) f_l^{(k)}(r) + \frac{\partial}{\partial x} W_p^{(k)}(x) \varphi_p^{(k)}(r))}{\partial x} + \\
&+ (C_{\theta\theta} \frac{1}{r} + C_{\theta r} \frac{\partial}{\partial r}) W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r)] \delta \frac{1}{r} W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r) + \\
&+ [C_{rx} \frac{\partial(U_l^{(k)}(x) f_l^{(k)}(r) + \frac{\partial}{\partial x} W_p^{(k)}(x) \varphi_p^{(k)}(r))}{\partial x} + \\
&+ (C_{r\theta} \frac{1}{r} + C_{rr} \frac{\partial}{\partial r}) W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r)] \delta \frac{\partial W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r)}{\partial r} + \\
&+ G_{xr}^{(k)} [\frac{\partial(U_l^{(k)}(x) f_l^{(k)}(r) + \frac{\partial}{\partial x} W_p^{(k)}(x) \varphi_p^{(k)}(r))}{\partial r} + \frac{\partial W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r)}{\partial x}] * \\
&* \delta [\frac{\partial(U_l^{(k)}(x) f_l^{(k)}(r) + \frac{\partial}{\partial x} W_p^{(k)}(x) \varphi_p^{(k)}(r))}{\partial r} + \frac{\partial W_p^{(k)}(x) \beta_p^{(k)}(r)}{\partial x}] \} dr dx,
\end{aligned} \tag{4}$$

де ($\bar{l}=1,2; \bar{p}=1,2,3$), L – довжина оболонки;

a_{k-1}, a_k – координати зовнішніх поверхонь k -тої складової оболонки за віссю r .

Після перетворень

$$\begin{aligned}
\delta\Pi = \int_0^L \{ & [D11_{ll}^{(k)} \frac{\partial U_l^{(k)}(x)}{\partial x} + (D12_{lp}^{(k)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + D13_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D14_{lp}^{(k)}) W_p^{(k)}(x)] \delta \frac{\partial U_l^{(k)}(x)}{\partial x} + \\
& + [D21_{ll}^{(k)} \frac{\partial U_l^{(k)}(x)}{\partial x} + (D22_{lp}^{(k)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + D23_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D24_{lp}^{(k)}) W_p^{(k)}(x)] \delta \frac{\partial W_p^{(k)}(x)}{\partial x^2} + \\
& + [(D31_{ll}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D41_{ll}^{(k)}) \frac{\partial U_l^{(k)}(x)}{\partial x} + \\
& + ((D32_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D42_{lp}^{(k)}) \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (D33_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D43_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)^2}}) + \\
& + (D34_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D44_{lp}^{(k)}) W_p^{(k)}(x)] \delta W_p^{(k)}(x) + \\
& + [(T11_{ll}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T21_{ll}^{(k)}) U_l^{(k)}(x) + (T12_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T22_{lp}^{(k)}) \frac{\partial W_p^{(k)}(x)}{\partial x}] \delta U_l^{(k)}(x) + \\
& + [(T31_{ll}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T41_{ll}^{(k)}) U_l^{(k)}(x) + \\
& + (T32_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T42_{lp}^{(k)}) \frac{\partial W_p^{(k)}(x)}{\partial x}] \delta \frac{\partial W_p^{(k)}(x)}{\partial x} \} dx \quad (5)
\end{aligned}$$

Варіація роботи зовнішнього навантаження на лицьових поверхнях шару може бути записана таким чином:

$$\delta A = \int_0^L (q_{xl}^{(k)}(x) \delta U_l^{(k)}(x) + q_{lp}^{(k)}(x) \delta W_p^{(k)}(x)) dx, \quad (6)$$

де $q_{r3}^{(k)}(x) = 0$.

Рівняння рівноваги шару циліндричної оболонки одержуємо на основі варіаційного рівняння Лагранжа.

$$\delta\Pi - \delta A = 0. \quad (7)$$

Після перетворень отримуємо диференціальні рівняння рівноваги шару циліндричної оболонки.

$$\begin{aligned}
& BB_{ll}^{(k)} \frac{\partial^2 U_l^{(k)}(x)}{\partial x^2} + (BT_{ll}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} BP_{ll}^{(k)}) U_l^{(k)}(x) + \\
& + BD_{lp}^{(k)} \frac{\partial^3 W_p^{(k)}(x)}{\partial x^3} + (BS_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} BC_{lp}^{(k)}) \frac{\partial W_p^{(k)}(x)}{\partial x} = q_{1l}^{(k)}; \\
& DB_{pl}^{(k)} \frac{\partial^3 U_l^{(k)}(x)}{\partial x^3} + (DS_{pl}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} DC_{pl}^{(k)}) \frac{\partial U_l^{(k)}(x)}{\partial x} + \\
& + DD_{pp}^{(k)} \frac{\partial^4 W_p^{(k)}(x)}{\partial x^4} + (DT_{pp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} DP_{pp}^{(k)}) \frac{\partial^2 W_p^{(k)}(x)}{\partial x^2} + \\
& + (DU_{pp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} DZ_{pp}^{(k)}) W_p^{(k)}(x) = q_{1p}^{(k)}; \quad (8)
\end{aligned}$$

Якщо у варіаційне рівняння (7) підставити відому апроксимацію шуканих функцій по плану скінченного елемента [9]

$$U_l^{(k)}(x) = U_{l1}^{(k)} f_{u1}(x) + U_{l2}^{(k)} f_{u2}(x);$$

$$W_p^{(k)}(x) = W_{p1}^{(k)} f_{w1}(x) + \alpha_{p1}^{(k)} f_{w2}(x) + W_{p2}^{(k)} f_{w3}(x) + \alpha_{p2}^{(k)} f_{w4}(x), \quad (9)$$

де $f_{u1}(x) = 1 - x/a$; $f_{u2}(x) = x/a$;

$$f_{w1}(x) = \frac{2x^3 - 2ax^2 + a^3}{a^3}; \quad f_{w2}(x) = \frac{x^3 - 2ax^2 + a^2x}{a^2};$$

$$f_{w3}(x) = \frac{-2x^3 + 3ax^2}{a^3}; \quad f_{w4}(x) = \frac{x^3 - ax^2}{a^2}, \quad a - \text{довжина скінченного елемента,}$$

отримаємо рівняння рівноваги скінченного елемента шару оболонки.

$$\int_0^a \{ [(D11_{ll}^{(k)} \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} \frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x} + (T11_{ll}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T21_{ll}^{(k)}) f_{us}(x) f_{u\bar{s}}(x)) U_{ls}^{(k)} +$$

$$+ ((D12_{lp}^{(k)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + D13_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D14_{lp}^{(k)}) f_{wc}(x) \frac{\partial f_{u\bar{s}}(x)}{\partial x} +$$

$$+ (T12_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T22_{lp}^{(k)}) \frac{\partial f_{wc}(x)}{\partial x} f_{u\bar{s}}(x)) \bar{W}_{pc}^{(k)} - q_{xl}^{(k)}(x) f_{u\bar{s}}(x)] \delta U_{l\bar{s}}^{(k)} +$$

$$+ [(D21_{ll}^{(k)} \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x^2} + (D31_{ll}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D41_{ll}^{(k)}) \frac{\partial f_{us}(x)}{\partial x} f_{w\bar{c}}(x) +$$

$$(T31_{ll}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T41_{ll}^{(k)}) f_{us}(x) \frac{\partial f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x}] U_{ls}^{(k)} +$$

$$+ ((D22_{lp}^{(k)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + D23_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D24_{lp}^{(k)}) f_{wc}(x) \frac{\partial^2 f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x^2} +$$

$$+ ((D32_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D42_{ll}^{(k)}) \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (D33_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)}} + D43_{lp}^{(k)} \frac{1}{r^{(k)^2}}) +$$

$$+ (D34_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} D44_{ll}^{(k)}) f_{wc}(x) f_{w\bar{c}}(x) +$$

$$+ (T32_{lp}^{(k)} + \frac{1}{r^{(k)}} T42_{lp}^{(k)}) \frac{\partial f_{wc}(x)}{\partial x} \frac{\partial f_{w\bar{c}}(x)}{\partial x}] \bar{W}_{pc}^{(k)} -$$

$$- q_{rp}^{(k)}(x) f_{w\bar{c}}(x)] \delta \bar{W}_{pc}^{(k)} \} dx = 0, \quad (10)$$

де $\bar{W}_{p1}^{(k)} = W_{p1}^{(k)}$; $\bar{W}_{p2}^{(k)} = \alpha_{p1}^{(k)}$; $\bar{W}_{p3}^{(k)} = W_{p2}^{(k)}$; $\bar{W}_{p4}^{(k)} = \alpha_{p2}^{(k)}$.

Запропонована методика тестована зіставленням з відомими результатами розрахунку товстих оболонок [1,10,11]. Отримано близький збіг результатів розрахунку.

Проведемо аналіз напружено-деформованого стану чотиришарової ортотропної оболонки з наступними фізико-механічними характеристиками: $E_x^{(1)} / E_\theta^{(1)} = 25 / 1$; $E_\theta^{(1)} = E_r^{(1)}$; $G_{x\theta}^{(1)} / E_r^{(1)} = 0.5 / 1$; $G_{\theta r}^{(1)} / E_r^{(1)} = 0.2 / 1$; $G_{xr}^{(1)} = G_{x\theta}^{(1)}$; $\nu_{x\theta}^{(1)} = \nu_{xr}^{(1)} = \nu_{\theta r}^{(1)} = 0.25$; $L / h = 10$; $h / R = 1 / 5$. Решта шарів повернена по черзі на 90° . Оболонка навантажена на внутрішній поверхні по всій довжині рівномірно-розподіленим дотичним навантаженням. Розглядається шарнірне та жорстке закріплення шарів на контурі. В силу симетрії оболонки та навантаження розрахунок проводиться для половини оболонки, яка розбивається у плані на 20 елементів. Кожен шар ділиться на 4 частини за товщиною. Проводиться просторовий розрахунок (M1) та розрахунок з виключенням обтиснення та зсуву (M2) за рахунок відповідного задання характеристик жорсткості. Результати розрахунку

($\bar{U}_r = U_r E_3 / q_{11}$; $\bar{\sigma}_{xx} = \sigma_{xx} / q_{11}$; $\bar{\sigma}_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta} / q_{11}$) у центральній точці на зовнішніх поверхнях оболонки приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Напружено-деформований стан оболонки, що навантажена по всій довжині

Шарнірний край						Жорсткий край					
\bar{U}_r		$\bar{\sigma}_{xx}$		$\bar{\sigma}_{\theta\theta}$		\bar{U}_r		$\bar{\sigma}_{xx}$		$\bar{\sigma}_{\theta\theta}$	
M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
0.378	0.458	-23.1	-11.5	-0.147	-0.013	0.342	0.440	-17.7	-7.08	-0.101	0.027
0.346	0.458	-0.087	-0.156	1.55	2.05	0.272	0.440	0.054	0.021	1.25	2.00

У таблиці 2 наведені результати розрахунку цієї оболонки, але навантаженої дотичним навантаженням у центрі по штампу довжиною, яка дорівнює товщині оболонки. При розрахунку оболонка у плані ділилася на 100 елементів.

Таблиця 2 – Напружено-деформований стан оболонки, що навантажена локальним навантаженням

Шарнірний край						Жорсткий край					
\bar{U}_r		$\bar{\sigma}_{xx}$		$\bar{\sigma}_{\theta\theta}$		\bar{U}_r		$\bar{\sigma}_{xx}$		$\bar{\sigma}_{\theta\theta}$	
M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
0.083	0.034	-12.6	-2.73	-0.107	-0.019	0.083	0.034	-12.6	-2.68	-0.107	-0.019
0.032	0.034	0.027	0.059	0.153	0.167	0.032	0.034	0.029	0.060	0.151	0.167

Результати розрахунку вказують на необхідність застосування просторових моделей для розрахунку товстих циліндричних оболонок. Нехтування обтісненням та зсувом приводить до неприпустимої похибки навіть для рівномірно-розподіленого навантаження по всій довжині оболонки. У разі локального навантаження розбіжність таких розрахунків зростає. Спосіб закріплення товстих оболонок на контурі при аналізі напружено-деформованого стану у зоні локального штампу, що діє у її центрі, суттєвого значення не має.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Статика анизотропних толстостенних оболонок. –К.: Вища школа, 1985.– 190 с.
2. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Задачи теории упругости неоднородных тел. – К.: Наукова думка, 1991.– 216 с.
3. Григоренко Я.М., Влайков Г.Г., Григоренко А.Я. Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей. –К.: Академперіодика, 2006. – 472 с.
4. Grigorenko, Ya.,M., Yaremchenko, S.,N.: Refined analysis of the stress state of orthotropic elliptic cylindrical shells with variable geometrical parameters // Int. Appl. Mech. –2008.– 40,N9.– P. 998-1005.
5. Grigorenko, Ya.,M., Grigorenko, A.,Ya., Zakhariychenko, L.,I.: Study of effect of the geometrical parameters on the stress state of cylindrical shells with corrugated elliptic cross-section // Int. Appl. Mech.- 2009.– 43,N12.– P. 1372-1379.
6. Гузь А.Н., Чернышенко И.С., Шнеренко К.И. Концентрация напряжений около отверстий в оболочках из композитных материалов // Прикладная механика. – 2001.–37,N2 С. 3–43.
7. Немиш Ю.Н., Хома И.Ю. Напряженно-деформированное состояние нетонких оболочек и пластин. Трехмерная теория (обзор) // Прикладная механика.– 1991.–27,N11 С. 3–26.
8. Марчук А.В., Пискунов В.Г. Статика, колебания и устойчивость композитных панелей с пологим искривлением слоев. 1.Статика и колебания // Механика композитных материалов.– 1999.– 35,N4.– С. 423–434.
9. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. –М.: Мир.– 1986.–318 с.

10. Марчук А.В., Пискунов В.Г. Расчет слоистых конструкций полуаналитическим методом конечных элементов // Механика композитных материалов.– 1997.– 33, №6.– С. 781–785.

11. Марчук А.В., Ильченко Я.Л., Гнедаш С.В. Анализ напряженно-деформированного состояния толстых цилиндрических оболочек // Прикладная механика. –2011.–Т47, №4, – С. 119-126.

REFERENCES

1. Grigorenko I.M., Vasilenko A.T., Pankratova N.D. Thick-walled shell anisotropic statics. – K.: Vyshcha Shkola, 1985. – 190 p. (Rus)

2. Grigorenko I.M., Vasilenko A.T., Pankratova N.D. Non-homogeneous objects elasticity theory goals. K.: Naukova Dumka, 1991 – 216 p. (Rus)

3. Grigorenko I.M., Vlaikov G.G., Grigorenko A.I. Shell mechanics problems numerical analytic solution on the basis of different models. K.: Akadempriodika, 2006 – 472 p. (Rus)

4. Grigorenko I.M., Iaremchenko, S.N.: Refined analysis of the stress state of orthotropic elliptic cylindrical shells with variable geometrical parameters // Int. Appl. Mech.-2008. – 40, №9.- P. 998-1005.

5. Grigorenko Ya., M., Grigorenko, A., Ya., Zakhariyenko, L., I. : Study of effect of the geometrical parameters on the stress state of cylindrical shells with corrugated elliptic cross-section // Int. Appl. Mech.- 2009.- 43, №12.- P.1372-1379 .

6. Guz A. N., Chernyshenko I. S., Shnerenko K. I. Accumulation of stresses at the composite shell holes. // Applied mechanics. – 2001. – 37, №2 3-43 p. (Rus)

7. Nemish I. N., Khoma I. I. Stress strain behavior of thin shells and bases. Three dimensional theory. (survey) // Applied mechanics. – 1991. – 27, №11 3-26 p. (Rus)

8. Marchuck A. V., Piskunov V. G. Statics, oscillations and fixity of composite panels with flat layer curvature. Statics and oscillations// Composite materials mechanics. – 1999 – 35, №4.– 423–434 p. (Rus)

9. Zenkevich O., Morgan K. Finite elements and approximation. M.: Mir.– 1986.–318 p. (Rus)

10. Marchuck A. V., Piskunov V. G. Sandwich structure calculation via semianalytic method of finite elements. // Composite materials mechanics. – 1997. – 33, №6. – 119-126 p. (Rus)

11. Marchuck A. V., Ilchenko I. L., Gnedash S. V. Thick cylindrical sheaths stress strain behavior analysis. // Applied mechanics –2011.–Т47, №4, – 119 -126 p. (Rus)

РЕФЕРАТ

Марчук О.В. Напружено-деформований стан товстих циліндричних оболонок під дією локальних дотичних навантажень за різних умов закріплення контура / О.В. Марчук, О.О. Рассказов, С.В. Гнедаш, С.А. Левківський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

У статті запропонований підхід до розрахунку товстих композитних циліндричних оболонок у стані осесиметричного згинання.

Об'єкт дослідження – статичний напружено-деформований стан композитних циліндричних оболонок.

Мета роботи – дослідження напружено-деформованого стану товстих циліндричних оболонок під дією локальних дотичних навантажень за різних умов закріплення контура.

Метод дослідження – розроблена авторами математична модель напружено-деформованого стану товстих циліндричних оболонок, та її реалізація на основі поліноміальної апроксимації.

Побудовано підхід до дослідження напружено-деформованого стану товстих циліндричних композитних оболонок. Підхід засновано на розділенні циліндричної оболонки по товщині концентричними поверхнями на ряд складових циліндричних оболонок, достатньо тонких, щоб можна було нехтувати зміною їх кривизни по товщині. Задовольняючи умовам контакту на зовнішніх поверхнях між складовими оболонками, описуємо напружено-деформований стан заданої оболонки, з дискретним урахуванням зміни кривизни по товщині. В підході для апроксимації шуканих функцій в плані і за товщиною використовують поліноми. Проведено аналіз напружено-деформованого стану оболонок в зоні локального дотичного навантаження при різних умовах на контурі.

Результати статті можуть бути використані при розрахунку циліндричних оболонок з композитного матеріалу.

Прогнозовані припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – динамічний напружено-деформований стан композитних циліндричних оболонок.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТОВСТІ ЦИЛІНДРИЧНІ ОБОЛОНКИ, ЛОКАЛЬНІ ДОТИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, РІЗНІ КОНТУРНІ УМОВИ.

ABSTRACT

Marchuck O.V., Raskazov O.O., Gnedash S.V., Levkivskiy S.A. Thick cylindrical sheath stress strain behavior under the influence of local shearing stress load at different contour fitting conditions. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

Calculation of thick cylindrical sheath in the state of non-symmetrical bend approach has been suggested in the article.

The object of studying is static stress strain behavior of composite cylindrical sheath.

The aim of work is stress strain behavior investigation of thick cylindrical sheath under the influence of local shearing stress load at different contour fittings.

Research method: stress behavior mathematical model of thick cylindrical sheath condition and its implementing on the basis of polynomial approximation has been developed by the authors.

An approach has been built to stress strain behavior investigation of composite thick cylindrical sheath. The approach is based on cylindrical sheath thickness division by concentric surfaces into the number of composite cylindrical sheaths which are thin enough to ignore their thickness curve change. Satisfying contacts conditions on outward surfaces between sheath composites we describe stress strain behavior of the given sheath taking into consideration thickness curve changes. Polynoms are used in the approach for approximation wanted functions according to the plan and by the thickness. Stress strain behavior of sheath in the zone of local shearing stress load in different conditions on the contour has been completed.

The article conclusions may be used while calculating cylindrical sheaths of composite material.

There are predictable suppositions concerning the development of the object under study such as composite cylindrical sheaths dynamic stress strain behavior state.

KEY WORDS: THICK CYLINDRICAL SHEATHS, LOCAL SHEARING STRESS LOAD, DIFFERENT CONTOUR STATES.

РЕФЕРАТ

Марчук А.В. Напряженно-деформированное состояние толстых цилиндрических оболочек под действием локальных касательных нагрузок при различных условиях закрепления контура / А.В. Марчук, А.А. Рассказов, С.В. Гнедаш, С.А. Левковский // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

В статье предложен подход к расчету толстых композитных цилиндрических оболочек в состоянии осесимметрического изгиба.

Объект исследования – статическое напряженно-деформированное состояние композитных цилиндрических оболочек.

Цель работы – исследование напряженно-деформированного состояния толстых цилиндрических оболочек под действием локальных касательных нагрузок при различных условиях закрепления контура.

Метод исследования – разработанная авторами математическая модель напряженно-деформированного состояния толстых цилиндрических оболочек, и ее реализация на основе полиномиальной аппроксимации.

Построен подход к исследованию напряженно-деформированного состояния толстых цилиндрических композитных оболочек. Подход основан на разделении цилиндрической оболочки по толщине концентрическими поверхностями на ряд составляющих цилиндрических оболочек, достаточно тонких, чтобы можно было пренебрегать изменением их кривизны по толщине. Удовлетворяя условиям контакта на внешних поверхностях между составляющими оболочками, описываем напряженно-деформированное состояние заданной оболочки, с дискретным учетом изменения кривизны по толщине. В подходе к аппроксимации искомых функций в плане и по толщине используют полиномы. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния оболочек в зоне локальной касательной нагрузки при различных условиях на контуре.

Результаты статьи могут быть использованы при расчете цилиндрических оболочек из композитного материала.

Прогнозируемые предположения относительно развития объекта исследования – динамическое напряженно-деформированное состояние композитных цилиндрических оболочек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТОЛСТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ, ЛОКАЛЬНЫЕ КАСАТЕЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ, РАЗНЫЕ КОНТУРНЫЕ УСЛОВИЯ.

АВТОРИ:

Марчук Олександр Васильович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри опору матеріалів і машинознавства, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, тел. +380994256775, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 113.

Рассказов Олександр Олегович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор, завідувач кафедрою теоретичної та прикладної механіки, e-mail: arasskazov@ukr.net, тел. +380672432648, Україна, 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42, к. 608.

Гнедаш Сергій Вікторович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри опору матеріалів і машинознавства, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, тел. +380635231860, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 113.

Левківський Сергій Анатолійович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри дорожніх машин, e-mail: sergey_levkovsky@ukr.net, тел. +380978316547, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 226.

AUTHORS:

Marchuck Alexander V., D.Eng., National Transport University professor, Mechanical engineering and strength of materials department professor, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, tel. +380994256775 Ukraine, 01010, Kiev, Suvorova str. 1, of. 113.

Raskazov Alexander O., D.Eng., National Transport University professor, Theoretical and applied mechanics department head professor, e-mail: arasskazov@ukr.net, tel. +380672432648 Ukraine, 01103, Kiev, Kikvizde str. 42, of. 608.

Gnedash Sergij V., National Transport University, postgraduate, department of mechanical engineering and strength of materials, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, tel. +3800635231860 Ukraine, 01010, Kiev, Suvorova str. 1, of. 113.

Levkivskiy Sergii A., National Transport University, Road vehicles department senior lecturer, e-mail: sergey_levkovsky@ukr.net, tel. +380978316547 Ukraine, 01010, Kiev, Suvorova str. 1, of. 226.

АВТОРЫ:

Марчук Александр Васильевич, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, профессор кафедры сопротивления материалов и машиноведения, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, тел. +380994256775, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 113.

Рассказов Александр Олегович, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, e-mail: arasskazov@ukr.net, тел. +380672432648, Украина, 01103, г. Киев, ул. Киквидзе, 42, к. 608.

Гнедаш Сергей Викторович, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры сопротивления материалов и машиноведения, e-mail: ksm_ntu@ukr.net, тел. +380635231860, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 113.

Левковский Сергей Анатольевич, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры дорожных машин, e-mail: sergey_levkovsky@ukr.net, тел. +380978316547, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 226.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кисельов В.Б., доктор технічних наук, професор, Академія муніципального управління, професор, завідувач кафедрою автоматизованого управління технологічними процесами, Київ, Україна.

Гуляев В.И., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедрою вищої математики, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Kiselev V.B., D.Eng., Municipal management academy professor, Automated process control department head professor, Kiev, Ukraine.

Gulyaev V.I., D.Eng., National Transport University professor, Higher mathematics department head professor, Kiev, Ukraine.