

УДК 621.8

DOI: 10.15276/pidtt.1.69.2025.05

¹Фідровська Н. М., ²Слепужніков Є. Д., ³Перевозник І. А.,

³Нестеренко В. В.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Національний університет цивільного захисту України

³Харківський державний автомобільно-дорожній коледж

⁴Первомайська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТРЬОХШАРОВОЇ ОБОЛОНКИ

Анотація. Представлені експериментальні дослідження визначення стійкості трьохшарової циліндричної конструкції запропонованого ходового колеса мостового крана, яке має пружну вставку. Застосування багатошарових конструкцій найбільш широко використовуються останнім часом, але досконалої методики розрахунку таких конструкцій ще не розроблено. Це звичайно стримує застосування багатошарових конструкцій, незважаючи на те, що у багатьох випадках такі конструкції мають значні переваги у порівнянні з простою конструкцією. Часто при навантаженні багатошарової конструкції виникають питання не тільки міцності, але і стійкості.

В практичному розрахунку багатошарових циліндричних оболонок реальна анізотропна стінка може бути замінена еквівалентною за механічними властивостями однорідною ортотропною стінкою. Ортотропна стінка має однакові з анізотропною стінкою нормальні модулі пружності і коефіцієнти Пуассона в подовжньому і кільцевому напрямках, а також значення міцності обох матеріалів.

Метод розрахунку композиційної конструкції, який оснований на приведенні її до ортотропної, дозволяє з достатньою для практичних розрахунків точністю вирішити цілий ряд інженерних задач. На етапі проєктних досліджень метод розрахунку композиційної конструкції являється досить суттєвим, так як дає порівняльно прості залежності і непогане співпадання теоретичних і експериментальних результатів.

Дуже важливо при визначенні показників міцності і стійкості багатошарових циліндричних оболонок і аналізі експериментальних результатів більш точно визначити пружні характеристики композиційного матеріалу. Це пояснюється тим, що композиційний матеріал має суттєве розсіювання властивостей.

Отримано залежність для визначення критичного зовнішнього тиску з урахуванням геометричних параметрів колеса і пружних властивостей всіх трьох шарів, які входять до його складу. Крім того, методика розрахунку враховує закон розподілення навантаження на циліндричну оболонку, що дає наближення до існуючих схем дії силових факторів.

Ключові слова: *трьохшарова оболонка, анізотропна стінка, ортотропна стінка, модуль пружності, критичний тиск.*

1. Вступ

Проектування конструкцій базується на спеціальних теоретичних і експериментальних методах дослідження. Найбільш актуальними задачами, які стоять при створенні нових конструкцій, являються встановлення параметрів мінімальної маси при заданому навантаженні. Для циліндричних оболонок суттєвими являються не тільки питання міцності, але і питанні стійкості.

Питаннями стійкості циліндричних оболонок займалися багато відомих вчених, але багатошарові конструкції потребують застосування уточнених методик розрахунків.

Застосування багатошарових конструкцій, в основному трьохшарових пластин та оболонок, має місце в різних галузях техніки, таких як будівництво, суднобудування і авіабудування, ракетно-космічної техніці та машинобудуванні.

Трьохшарова конструкція складається з двох міцних зовнішніх шарів, які з'єднані за допомогою заповнювача. Заповнювачем являється матеріал, який має меншу міцність, ніж зовнішні шари, але забезпечує пружні властивості оболонці.

Актуальність теми дослідження ґрунтується на відсутності точної методики розрахунку стійкості багатошарової оболонки.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Підкріплені і багатошарові оболонки використовуються в сучасних машинах досить часто, але методики їх розрахунків на міцність і стійкість не мають належного розвитку [1, 2]. Шарувато-волокниста структура є важливою особливістю композитів і характеризується присутністю армованих пружних шарів, які мають різні фізико-механічні властивості [3, 4]. Але актуальною стороною методологічного забезпечення лишається вирішення практичних питань проєктування [5, 6].

В роботі [7] досліджуються динамічні властивості трьохшарових циліндричних оболонок в залежності від товщини проміжного шару. Це дозволяє отримувати частоту вібрації трьохшарової конструкції при різних початкових умовах. Але залишилися невирішеними питання, пов'язані з міцністю і стійкістю трьохшарової конструкції.

Питання міцності трьохшарової циліндричної оболонки кінцевої довжини з постійною неоднорідністю у температурному полі вирішені в роботі [8]. Дослідження дозволили зробити висновок про причини появи неоднорідності напружено-деформованого стану матеріалів. Але при цьому не вирішено задачу міцності трьохшарової оболонки при змінному температурному полі. Це пов'язано на наш погляд з об'єктивними труднощами рішення такої задачі аналітичними методами.

Дослідження імпульсної дії навантаження на трьохшарову циліндричну оболонку у пружному середовищі проведено в роботі [9]. Автори запропонували механіко-математичну модель динамічного демпфування трьохшарової циліндричної оболонки у пружному середовищі. Але при цьому не проведений аналіз впливу такого виду навантажень на міцність і стійкість самої трьохшарової оболонки.

Рішення задачі міцності трьохшарової циліндричної конструкції отримане в роботі [10]. Це рішення дозволяє визначити напруження в оболонці в залежності не тільки від геометричних її параметрів, але і модулю зсуву заповнювача, що покращує достовірність проєктування і експлуатацію таких конструкцій. Але залишається невирішеним питання про стійкість трьохшарової циліндричної оболонки, незважаючи на те, що для тонкостінних циліндричних оболонок питання стійкості являються першочерговими.

В роботі [11] розглядалися вібраційні характеристики багатошарової циліндричної оболонки з підтримуючими кільцями, навантажену внутрішнім тиском, при різному закріпленні кінців оболонки. Дослідження показало, що наявність підтримуючих кілець збільшує частоту власних коливань. При цьому не було враховано, що в місцях приварки підтримуючих кілець будуть виникати місцеві напруження, які мають досить великі значення і вплив на напружено-деформований стан циліндричної оболонки.

Аналіз вібрації трьохшарової циліндричної оболонки з підтримуючими кільцями проведено в роботі [12]. Дослідження показали, що частота коливань зменшується із зменшенням відношення довжини оболонки до її радіусу. Крім того, було визначено, що частота коливань зменшується при збільшенні товщини центрального шару. Але авторами не було враховано місцеві напруження, які виникають в місцях приварки підтримуючих кілець і вплив цих напружень на статичні і динамічні навантаження при роботі таких оболонок.

Як бачимо з огляду літературних джерел [7–12] стійкість трьохшарової циліндричної оболонки під дією зовнішнього тиску авторами не розглядалася.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розроблення методики розрахунку трьохшарової циліндричної оболонки на стійкість, що значно покращить розрахункову практику таких конструкцій. визначення критичного зовнішнього тиску для трьохшарової циліндричної оболонки.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

– визначити фактори, які впливають на стійкість трьохшарової циліндричної оболонки;

– з урахуванням геометричних та пружних властивостей шарів оболонки, а також закону розподілення зовнішнього тиску визначити значення критичного тиску для трьохшарової циліндричної оболонки.

4. Методика проведення досліджень стійкості трьохшарової циліндричної оболонки

Для визначення критичного тиску при пружній роботі стінки циліндричної оболонки використовують формулу Мізеса.

При визначенні критичного тиску використовувався методваріаційного рахунку з використанням рівняння Ейлера змішаної варіаційної задачі.

При радіальному стисненні оболонка буде мати радіальні переміщення:

$$w = \xi(x) \cos n\varphi. \quad (1)$$

При постійному зростанні стиску до $p_{кр}$ робота зовнішнього навантаження переходить в потенціальну енергію радіального тиску.

Умова рівності робіт внутрішніх і зовнішніх сил ортотропної конструкції, яка знаходиться в стані байдужої рівноваги з радіальним переміщенням:

$$U = \int_0^L \Gamma dx = 0, \quad (2)$$

де

$$\Gamma = \oint \left[\frac{1}{2} m_\varphi x_\varphi + \frac{1}{2} \sigma_x \delta_c \varepsilon_x - \frac{1}{2} p_{кр} R w x_\varphi \right] R d\varphi. \quad (3)$$

m_φ – поперечні моменти згину:

$$m_\varphi = D(\chi_\varphi + \mu \chi_x). \quad (4)$$

χ_φ —змiна кривизни середньої поверхні у коловому напрямку:

$$\chi_\varphi = -\frac{1}{R} \left(\frac{d^2 w}{d\varphi^2} + w \right). \quad (5)$$

D і R відповідно, модуль пружності і радіус серединної поверхні оболонки, χ_x —змiна кривизни середньої поверхні в напрямку твірної:

$$\chi_x = -\frac{d^2 w}{dx^2}. \quad (6)$$

μ — коефіцієнт Пуассона,

σ_x — додаткові осьові нормальні напруження,

$$\sigma_x = E \varepsilon_x, \quad (7)$$

E — модуль пружності,

ε_x — осьова відносна деформація.

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} = -\frac{R}{n^2} \frac{d^2 \xi(x)}{dx^2} \cos n\varphi. \quad (8)$$

Після підстановки цих величин отримаємо:

$$\Gamma = \left[\frac{D_h (n^2 - 1)^2}{2R^4} \xi^2(x) + \frac{E \delta_c R^2}{2n^4} \left(\frac{d^2 \xi(x)}{dx^2} \right)^2 - \frac{(n^2 - 1)}{2R} p_{kp} \xi^2(x) \right] \pi R. \quad (9)$$

Для визначення стійкості трьохшарової циліндричної оболонки заміняємо еквівалентну товщину стінки сумарною товщиною несучих шарів:

$$2\delta_{n.cp.} = \delta_{n1} + \delta_{n2}, \quad (10)$$

де δ_{n1} , δ_{n2} — товщини несучих шарів.

Жорсткість на згин D_h замінюємо жорсткістю на згин трьохшарової оболонки з урахуванням деформації зсуву.

$$D_{cdv} = D_1 + D_2 + \frac{D_{12}}{1 + \frac{2hD_{12}n^2}{(2h + \delta_{n.cp})^2 R^2 G_{zan}} (1 + \omega)^2}, \quad (11)$$

де

$$D_1 = \frac{E\delta_{n1}^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (12)$$

$$D_2 = \frac{E\delta_{n2}^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (13)$$

$$D_{12} = \frac{2E\delta_{n1}\delta_{n2}(h + 0,5\delta_{n.c})^2}{12(1 - \mu^2)\delta_{n.c}}, \quad (14)$$

$$\omega = \frac{m\pi}{L}. \quad (15)$$

Зовнішній тиск, який діє на оболонку, приймаємо відповідно закону розподілення

$$p = p_0(1 - ax^2) \quad (16)$$

Отримане раніше рівняння для функції прогину трьохшарової оболонки має вигляд[10]:

$$\xi(x) = e^{k_n x} (C_1 \sin k_n x + C_2 \cos k_n x) + \frac{k}{k_n^4} p_0 (1 - ax^2), \quad (17)$$

де

$$C_1 = \frac{p_0 a \cos \varphi}{\chi^4 (\alpha^2 - \beta^2)} \cos \beta \frac{L}{2}, \quad (18)$$

$$C_2 = -\frac{p_0 a \cos \varphi}{\chi^4 (\alpha^2 - \beta^2)} \left(e^{\frac{\alpha L}{2}} - e^{-\frac{\alpha L}{2}} \right) \sin \beta \frac{L}{2}, \quad (19)$$

$$k_n^4 = \frac{\frac{2,28}{G_{\text{зан}} R^2 F} - \frac{33,44}{D_t}}{4ER \left(\frac{33266,89}{G_{\text{зан}}^2 R^4 F^2} - \frac{58923}{D_t^2} \right)}, \quad (20)$$

$$k = \frac{\left(\frac{103,2}{D_t} - \frac{39,71}{G_{\text{зан}} R^2 F} \right)}{2\pi R^2 E \left(\frac{33266,89}{G_{\text{зан}}^2 R^4 F^2} - \frac{58923}{D_t^2} \right)}, \quad (21)$$

$$\chi^4 = \frac{4E\delta_{n.cp}}{D_t R^2 (\delta_{n.cp} + 1)}, \quad (22)$$

$$2\nu^2 = \frac{E\delta_{n.cp}}{R^2 h G_{\text{зан}} (\delta_{n.cp} + 1)}, \quad (23)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\chi^2 + \nu^2}{2}}, \quad (24)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\chi^2 - \nu^2}{2}}. \quad (25)$$

Рішенням рівняння (3) буде:

$$p_{kp} = \frac{\left[\frac{D_{\text{цод}} (n^2 - 1)}{2R^4} + \frac{E\delta_{n.cp} R \tau_2}{2n^4 \tau_1} \right] 2R}{n^2 - 1}, \quad (26)$$

$$\tau_1 = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 - \gamma_5 - \gamma_6$$

$$\tau_1 = \frac{(e^{2k_n L} - 1)}{4k_n} (C_1^2 + C_2^2) + \frac{(e^{2k_n L} - 1) [(\cos 2k_n L - 1) + \sin 2k_n L]}{4k_n} (C_2^2 - C_1^2) +$$

$$\begin{aligned}
& + 2C_1C_2 \frac{(e^{2k_nL} - 1)[\sin 2k_nL - (\cos 2k_nL - 1)]}{4k_n} + \\
& + \frac{p_0k(e^{k_nL} - 1)}{k_n^5} \{C_1[\sin k_nL - (\cos k_nL - 1)] + C_2[(\cos k_nL - 1) + \sin k_nL]\} - \\
& - \frac{akC_1(e^{k_nL} - 1)}{k_n^5} \left[\left(L^2 - \frac{1}{k_n} \right) \sin k_nL - \left(L^2 + \frac{1}{k_n} \right) (\cos k_n - 1) \right] - \\
& - \frac{akC_2(e^{k_nL} - 1)}{k_n^5} \left[\left(L^2 - \frac{1}{k_n} \right) (\cos k_nL - 1) \left(L^2 + \frac{1}{k_n} \right) \sin k_nL \right] - \frac{k^2 p_0^2 L}{k_n^8} \left(\frac{aL^2}{3} - 1 \right), \quad (27)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_2 &= \gamma_7 - \gamma_8 + \gamma_9 + \gamma_{10} - \gamma_{11} \\
\tau_2 &= C_1^2 k_n^3 (e^{2k_nL} - 1) [1 + 2(\cos 2k_nL - 1) + \sin 2k_nL] - \\
& - C_1 C_2 k_n (e^{2k_nL} - 1) [\sin 2k_nL - (\cos 2k_nL - 1)] + \frac{4k^2 a^2 p_0^2 L}{k_n^8} + \\
& + C_2^2 k_n^3 (e^{2k_nL} - 1) [1 + 2(\cos 2k_nL - 1) + \sin 2k_nL] - \frac{8kap_0}{k_n^3} (e^{2k_nL} - 1) C_2 [\sin k_nL - (\cos k_nL - 1)]. \quad (28)
\end{aligned}$$

Нами було отримане аналітичне рішення для визначення критичного зовнішнього тиску для трьохшарової циліндричної оболонки, яка знаходиться під дією зовнішнього тиску.

5. Результати досліджень стійкості трьохшарової циліндричної оболонки

Розподілення зовнішнього тиску приймаємо за формулою (16).

Проведемо розрахунки для трьохшарової оболонки (рис. 1–3) з наступними параметрами: $R=100$ мм, $L=80$ мм, матеріал зовнішніх шарів чавун СЧ 18–36 з модулем пружності $E=1,4 \times 10^5$ МПа.

Матеріал внутрішнього шару – гумава суміш 7–7130 з модулем пружності $E_{зан}=80,1$ МПа, $h=20$ мм, $\delta_{n1}=22$ мм, $\delta_{n2}=45$ мм.

З рівняння (25) перша складова набагато більша ніж друга, тому у інженерних розрахунках для спрощення можна враховувати тільки першу складову і тоді отримаємо $p_{кр}=1267$ МПа. Для кранових ходових коліс допустимий тиск колеса на рейку приймається у межах 250 МПа, тобто ми маємо запас стійкості $n_c=1267/250=5,1$. Як бачимо, запас стійкості більш ніж достатній.

Для проведення подальших досліджень було запропоновано ходове колесо з пружним кільцем [13]. Раніше проведені експерименти показали, що таке колесо має цілий ряд переваг у порівнянні з суцільними колесами [14].

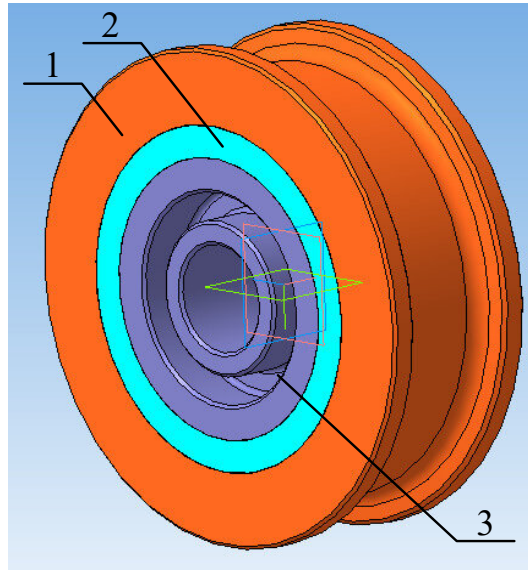


Рис. 1. Колесо ходове кранове з пружним кільцем, розташованим в ободі

1 – обід; 2 – пружне кільце (еластична, гумова вставка); 3 – маточина

Пружне кільце (еластична, гумова вставка) (рис. 2) має ступінчасту форму, яка входить в пази, які нарізані на внутрішній поверхні колеса (рис. 3).

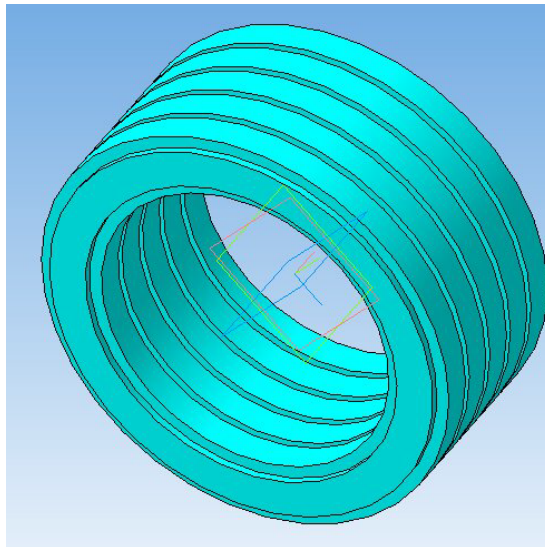


Рис. 2. Пружне кільце (еластична, гумова вставка)

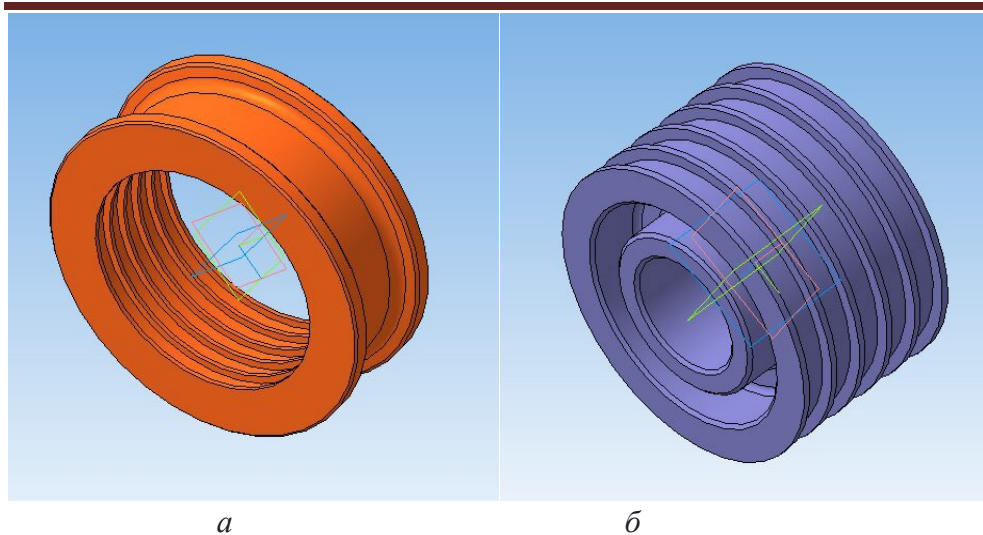


Рис. 3. Конструкція колеса ходового кранового з пружним кільцем (еластичною, гумовою вставкою)
a – обід; *б* – маточина

За рахунок заповнювача товщиною h , трьохшарові оболонки при відносно невеликій масі мають високу міцність і жорсткість, що пояснюється великим значенням моменту інерції всієї стінки. У порівнянні із звичайною одношаровою стінкою момент інерції може збільшуватися у десятки разів.

Також було проведено дослідження впливу товщини зовнішнього шару оболонки на критичний тиск (рис. 4) і товщини пружної вставки на критичний тиск (рис. 5).

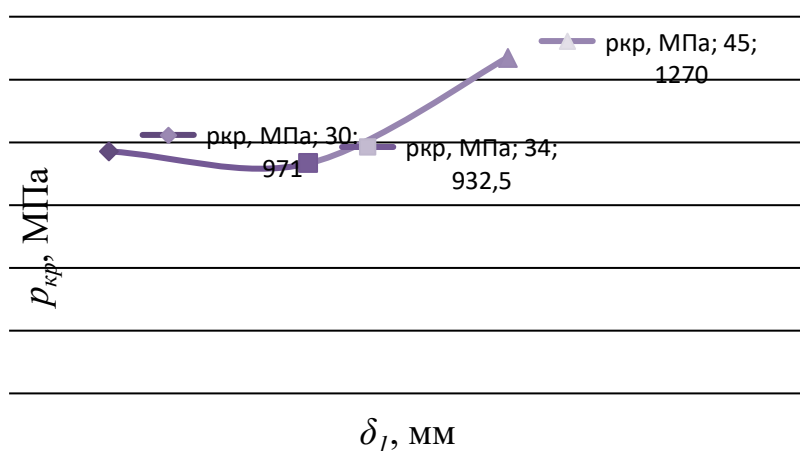


Рис. 4. Вплив товщини зовнішнього шару циліндричної оболонки на критичний тиск

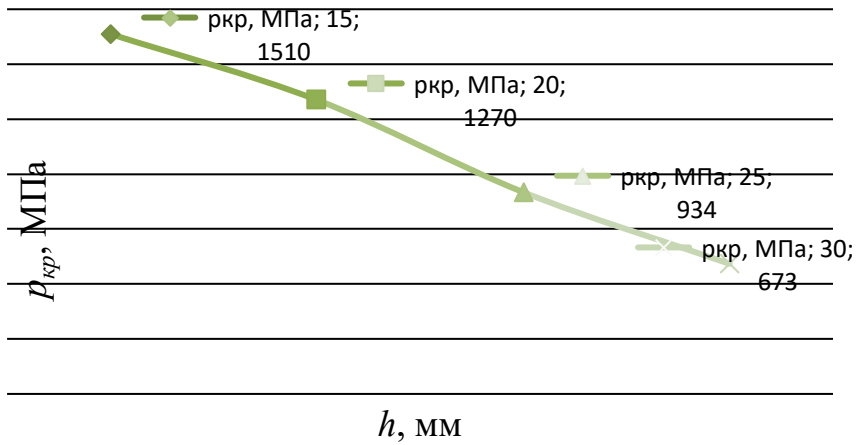


Рис.5. Вплив товщини пружної вставки на критичний тиск циліндричної трьохшарової оболонки

Критичне напруження визначаємо за формулою (16):

$$\sigma_{кр} = \frac{E}{R^2} \left(\frac{L}{\pi m} \right)^2 + \frac{D_{1p}}{2\delta_{cp}} \left(\frac{\pi m}{L} \right)^2 + \frac{D_1 - D_{1p}}{2\delta_{cp} \left(\frac{L}{\pi m} \right) + \frac{2\delta_{cp} h (D_1 - D_{1p})}{G_M (h + \delta_{cp})^2}}, \quad (29)$$

де

R – радіус кривизни серединної поверхні оболонки,

L – довжина оболонки,

$m=1,2,3$ – кількість напівхвиль зігнутої поверхні оболонки в подовжньому напрямку треба прийняти таке, яке задовольняє умові мінімуму критичних напружень $\sigma_{кр}$,

h – товщина пружного елемента,

G_M – жорсткість заповнювача на зсув,

$$G_M = \frac{\gamma_z}{\gamma_M} G_z. \quad (30)$$

Модуль зсуву матеріалу заповнювача можна визначити за формулою:

$$G_M = \frac{E_z}{2(1+\nu)}, \quad (31)$$

де

E_z – модуль пружності матеріалу заповнювача,

γ_z, γ_M – щільність матеріалу відповідно заповнювача і зовнішніх шарів,

δ_{cp} – середня товщина зовнішніх шарів,

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_z + \delta_b}{2}, \quad (32)$$

D_{lp} – розрахункова жорсткість багатошарової оболонки.

Таблиця 1

Вплив товщини заповнювача трьохшарової оболонки на критичне напруження

Товщина шару h (мм)	Критичне напруження $\sigma_{кр}$ (МПа)
10	128164
15	128011
20	100480
25	77125

Таблиця 2

Вплив товщини зовнішнього шару трьохшарової оболонки на критичне напруження

Товщина шару δ_z (мм)	Критичне напруження $\sigma_{кр}$ (МПа)
15	178240
18	128011
25	94806
30	84663

Таблиця 3

Вплив товщини внутрішнього шару трьохшарової оболонки на критичне напруження

Товщина шару δ_b (мм)	Критичне напруження $\sigma_{кр}$ (МПа)
35	87316
40	102153
45	128011
50	169663

Дані розрахунків наведені на рис. 6–8.

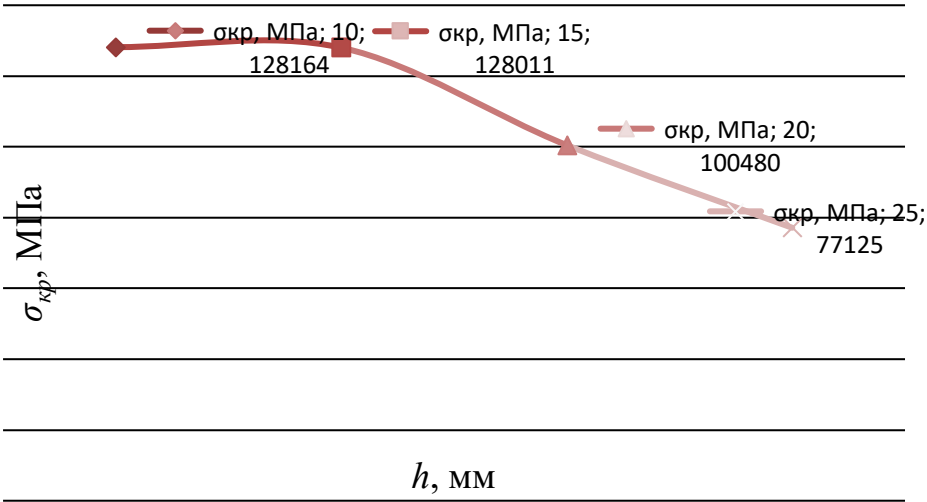


Рис. 6. Графік впливу товщини заповнювача трьохшарові оболонки на критичне напруження

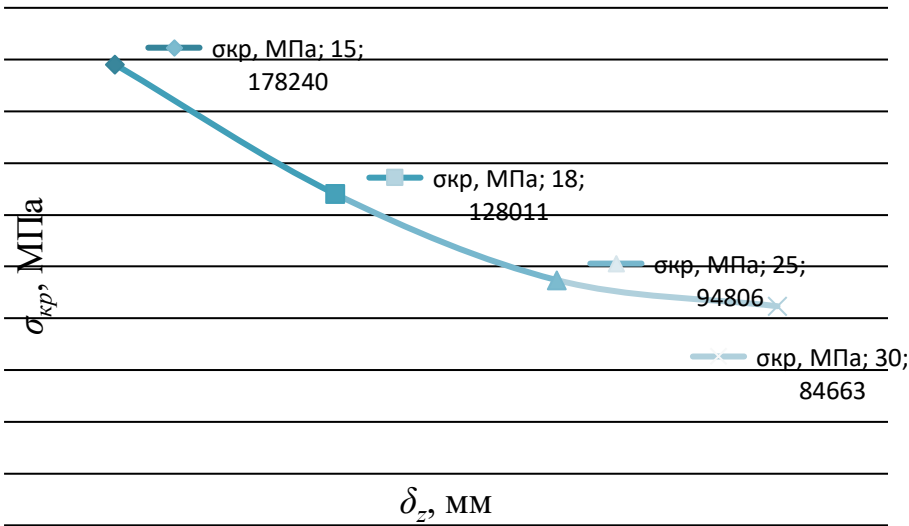


Рис. 7. Графік впливу товщини зовнішнього шару трьохшарові оболонки на критичне напруження

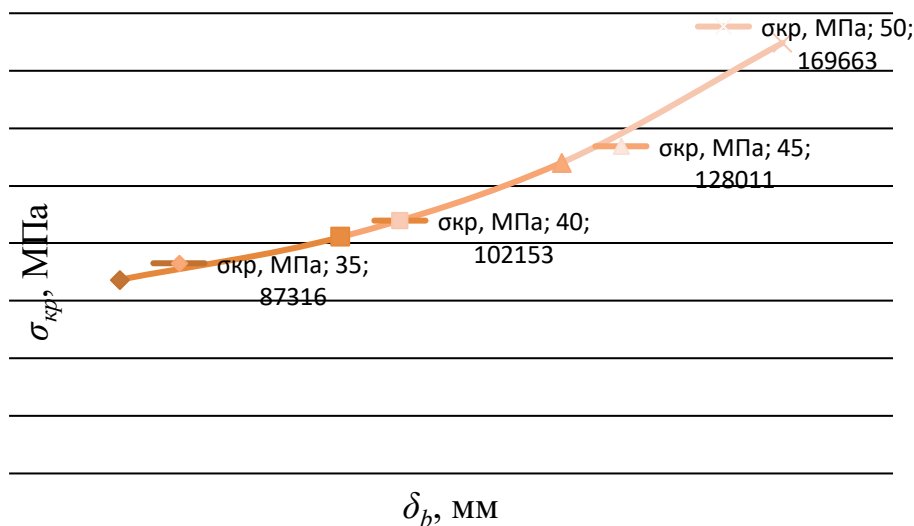


Рис. 8. Графік впливу товщини внутрішнього шару трьохшарової оболонки на критичне напруження

Проведене дослідження дало змогу отримати методику розрахунку трьохшарової циліндричної оболонки на стійкість.

6. Обговорення результатів

Запропонований в цій роботі розрахунок може бути застосований до трьохшарової циліндричної конструкції, яка має розподілений зовнішній тиск відповідно формулі (16). Якщо закон розподілення буде відрізнятись, то потрібно отримати нове значення прогину оболонки, тобто формулу (17) і по запропонованій методиці визначити критичний тиск. Отримана методика являється універсальною, яка дозволяє провести розрахунок трьохшарової циліндричної оболонки, яка знаходиться під дією зовнішнього тиску.

Висновки

1. В роботі наведено нова методика розрахунку трьохшарової циліндричної оболонки на стійкість з урахуванням геометричних і пружних властивостей всіх шарів, а також закону розподілення зовнішнього тиску.

2. Для наведеного ходового колеса, яке складається з трьох шарів критичний тиск буде дорівнювати 1267 МПа, в той час, коли максимальний тиск, який виникає в зоні ходового колеса складає 2,7 МПа.

Як бачимо, запропонована конструкція кранового колеса являється дуже міцною конструкцією з точки зору стійкості.

Список використаних джерел

1. Pavliuk, A.V.(2017). Dynamics of three-layer cylindrical shells elliptical cross-section with a longitudinal-transverse discrete ribbed filler. *Physics and chemistry of solidstate*, 18 (2), 243–248. doi: <https://doi.org/10.15330/pcss.18.2.243-248>
2. Ghamkhar, M., Naeem, M., Imran, M., Soutis, C. (2019). Vibration analysis of a three-layered FGM cylindrical shell including the effect of ring support. *OpenPhysics*, 17 (1), 587–600. doi: <https://doi.org/10.1515/phys-2019-0060>
3. Каіров, О.С., Власов, О. І., Латанська, Л. О. (2017). Власні коливання конструктивно неоднорідних багатошарових ортотропних циліндричних оболонок із композиційних матеріалів. *Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки*, 2, 57–65. URL: <http://journals of znu.zp.ua/index.php/phys-math/article/view/1303>
4. Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Kovalenko, R., Fedulova, S., Pustovoitov, P. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «Т». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*, 6/7 (102), 63–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>
5. Otrosh, Y., Kovalov, A., Semkiv, O., Rudeshko, I., Diven, V. (2018). Methodology remaining lifetime determination of the building structures. *MATEC Web of Conferences*, 230, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002023>
6. Mohamed, Ali J., Alsubari, S., Aminanda, Y. (2016). Hygrothermoelastic analysis of orthotropic cylindrical shells. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 13, 573–589. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1679-78252249>
7. Surianinov, M., Yemelianova, T., Lazarieva, D. (2018). Analytical and computer research of stability of three layer shells, supported by stiffness ribs. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 6797–6800. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.24672>
8. Shah, A., Ali, A., Naeem, M., Arshad, S. (2012). Vibrations of three-layered cylindrical shells with FGM middle layer resting on Winkler and Pasternak foundations. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/507031>
9. Leonenko, D. V., Starovoitov, E. I. (2015). Impulsive action on the three-layered circular cylindrical shells in elastic media. *Izv. Saratov Univ.*, 15 (2), 202–209. doi: <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2015-15-2-202-209>
10. Фідровська, Н.М., Слепужніков, Є.Д., Перевозник, І.А. (2019). Визначення міцності трьохшарової циліндричної оболонки. *Машинобудування*, 24, 17–23. doi: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2019-24-17-23>

11. Isvandzibaei, M., Jamaluddin, H., Hamzah, R. (2013). Effects of ring support and internal pressure on the vibration behavior of multiple layered cylindrical shells. *Advances in Mechanical Engineering*, 2013, 1–13. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/791917>

12. Ghamkhar, M., Naeem, M., Imran, M., Kamran, M., Soutis, C. (2019). Vibration frequency analysis of three-layered cylinder shaped shell with effect of FGM central layer thickness. *Scientific Reports*, 9, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38122-0>

13. Fidrovskaya, N., Slepuzhnikov, E., Larin, O., Varchenko, I., Lipovyi, V., Afanasenko, K., Harbuz, S. 2020. Increase of operating reliability of the travel wheel using the use of the elastic inserts. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5(30), 69–79. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001387>

14. Fidrovskaya, N., Slepuzhnikov, E., Varchenko, I., Harbuz, S., Shevchenko, S., Chyrkina, M., Nesterenko, V. (2021). Determining stresses in the metallic structure of an overhead crane when using running wheels of the new design. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/7(109), 22–31. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225097>

STABILITY OF A THREE-LAYER SHELL

¹Fidrovskaya N. M., ²Slepuzhnikov E. D., ³Perevoznyk I. A.,

⁴Nesterenko V. V.

¹Kharkiv National Automobile and Highway University

²National University of Civil Protection of Ukraine

³Kharkiv State Automobile and Highway College

⁴May Day branch of the National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov

Abstract. We present an experimental study of the stability of the three-ball cylindrical structure of the sealed running wheel of an overhead crane, which is a spring insert. The construction of multi-spherical structures is most widely used in the rest of the time, but a thorough methodology for the development of such structures has not yet been developed. This is primarily due to the stagnation of spherical structures, regardless of the fact that in many situations such structures may have significant advantages over those with a simple design. Often, when using a multi-ball design, nutritional value and durability are compromised.

In a practical design of multi-spherical cylindrical shells, the actual anisotropic wall can be replaced by a mechanically equivalent one-unit orthotropic wall. The orthotropic wall shares, however, with the anisotropic wall the normal elastic modulus and Poisson's ratio in the downstream and hoop directions, as well as the values of the value of both materials.

The method of designing a composite structure, which is based on the reduced to orthotropic design, allows a whole range of engineering tasks to be completed with an accuracy sufficient for practical design. At the stage of design research, the method of developing the compositional structure is completely suitable, as it gives equal consistency and consistency between theoretical and experimental results.

It is important to more accurately determine the spring characteristics of the composite material when assessing the strength and durability of multi-spherical cylindrical shells and analyzing experimental results. This is explained by the fact that the compositional material is consistent with the dissemination of power.

The reserve has been removed to determine the critical external pressure with the alignment of the geometric parameters of the wheel and the spring forces of all three balls that enter the warehouse. In addition, the method of expansion of the structure follows the law of division of attraction into a cylindrical shell, which provides closeness to other schemes of power factors.

Key words: *three-ball shell, anisotropic wall, orthotropic wall, elastic modulus, critical pressure.*