

УДК 539.3

І.Г. Гаран

СТІЙКІСТЬ ЦИЛІНДРИЧНИХ СКЛОПЛАСТИКОВИХ ОБОЛОНОК З ГОФРОВАНИМИ СТІНКАМИ ПРИ ДІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ТИСКУ

Досліджена стійкість оболонки при дії поверхневого тиску. Оцінено вплив амплітуд гофрів на значення критичного навантаження для оболонки з різними варіантами армування її стінки. Підтверджено що гофрування циліндричної оболонки у поперечному напрямі позитивно впливає на її стійкість при дії поверхневого тиску.

У сучасній техніці використовуються гофровані оболонкові елементи. Надання оболонкам певної форми є одним із способів впливу на їх жорсткість при проектуванні оболонкових конструкцій, на які діють експлуатаційні навантаження. У випадку дії поверхневого тиску на циліндричні оболонки застосовують гофрування у поперечному напрямі. При належному виборі параметрів хвилястості можна значно збільшити стійкість оболонок, і тим самим задовольнити необхідність максимального використання ресурсів міцності та економії матеріалу [1-3].

В роботі розглянута стійкість склопластикових оболонок при дії поверхневого тиску, утворених обертанням навколо осі Z спряжених дуг кіл, заданих у площині X, Z рівнянням (1), що спираються на базову циліндричну поверхню радіуса R_0

$$X = R_0 + Hf(Z), \quad (1)$$

$$f(z) = 1 - \frac{R_1}{H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(Z - L/2m)^2}{R_1^2}} \right), \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{1}{2H} (H^2 + (L/2m)^2), \quad (3)$$

де R_0 – радіус вихідної циліндричної поверхні, $f(z)$ – функція яка визначає профіль хвилі, L – висота циліндра, m – ціле число, H – амплітуда хвилі.

В розрахунку було прийнято такі параметри: радіус циліндричної оболонки $R_0 = 1\text{м}$, товщина стінки $t = 1\text{см}$, висота $L = 2\text{м}$, кількість дуг кола $m = 4$. Амплітуду H варіюємо в межах від 0 до 25см. Необхідні для розрахунку модулі матеріалу $E_1, E_2, G_{12}, G_{13}, G_{23}$ і коефіцієнт Пуассона ν_{12} визначено по заданим параметрам скловолкна $E_a = 70\text{ ГПа}$, $\nu_a = 0.2$, та

в'язучого $E_s = 3.15 \text{ ГПа}$, $\nu_s = 0.382$. Об'ємний вміст волокон $\xi = 0.7$, кут армування $\theta = 0$ [1].

Скінченноелементна модель оболонки формується в циліндричних координатах [4]. Стінки оболонки моделюються чотирикутними скінченними елементами з такими фізико-механічними характеристиками: $E_1=49.972 \text{ ГПа}$, $E_2=14.102 \text{ ГПа}$, $\nu_{12}=0.24767$, $G_{12}=G_{13}=5.32377$, $G_{23}=4.77733$. У вузлах верхньої кромки моделі оболонки накладаються в'язі, що обмежують переміщення по радіусу та по колу, а у вузлах нижньої кромки - по трьом циліндричним координатам. На рис. 1 зображені скінченноелементні моделі гладкої ($H=0$) та гофрованої ($H=12\text{см}$) циліндричної оболонки.

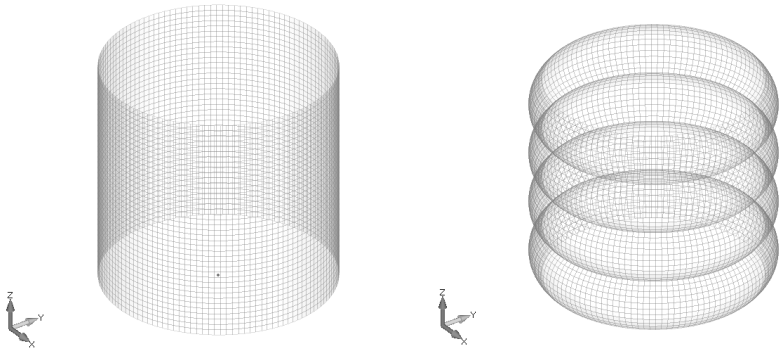


Рис. 1. Скінченноелементна модель гладкої та гофрованої циліндричної оболонки

Досліджено стійкість досконалої циліндричної оболонки ($H=0$) та оболонки з різними амплітудами гофрів. Розглянуто два випадки орієнтації волокон в матеріалі. У першому випадку волокна орієнтовані вздовж твірної оболонки, у другому – по колу. Гладка циліндрична оболонка втрачає стійкість при $q_{кр} = 0.093 \text{ МПа}$ у випадку орієнтації волокон вздовж твірної (рис. 2), і при $q_{кр} = 0.187 \text{ МПа}$ у випадку орієнтації волокон по колу (рис. 3). У першому випадку кількість хвиль по колу $n = 7$, у другому $n = 6$. На рис. 4 та рис. 5 зображені форми втрати стійкості гофрованої оболонки при $H = 12\text{см}$, що армована вздовж твірної та по колу відповідно. Як і у випадку з гладкою циліндричною оболонкою, гофровані оболонки при однакових амплітудах гофрів, але при різній орієнтації матеріалу мають різні значення критичного навантаження та форми втрати стійкості. Результати розрахунків визначення критичного навантаження оболонки з різними значеннями амплітуди H зведені в табл. 1. На рис. 6 наведені графіки залежності критичних навантажень від амплітуди хвилі H та орієнтації скловолокон. По осі абсцис відкладені значення амплітуди H , по осі ординат – значення критичного навантаження $q_{кр}$.

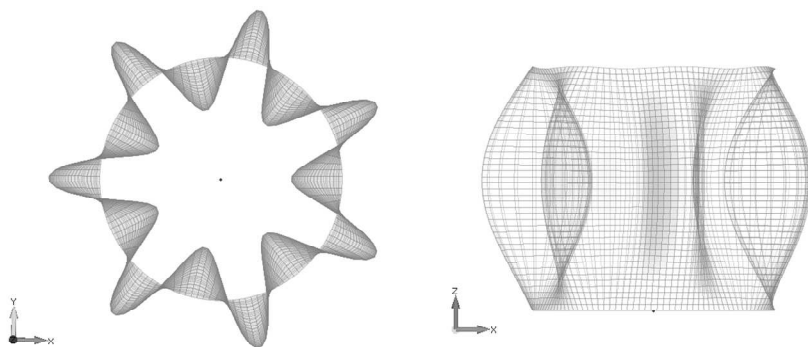


Рис. 2. Форма втрати стійкості циліндричної оболонки армованої вздовж твірної ($H=0$; $q_{кр}=0.093$ МПа)

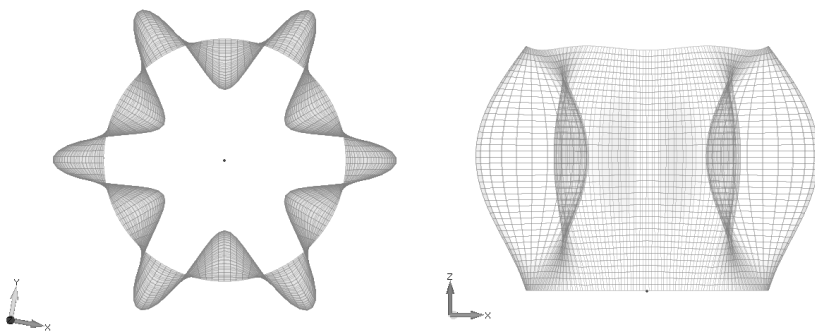


Рис. 3. Форма втрати стійкості циліндричної оболонки армованої по колу ($H=0$; $q_{кр}=0.187$ МПа)

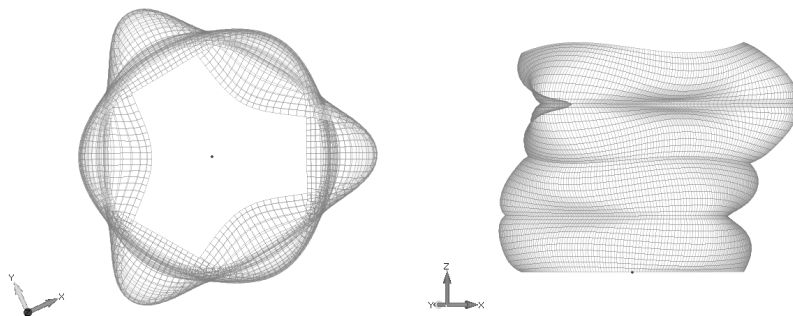


Рис. 4. Форма втрати стійкості гофрованої оболонки армованої вздовж твірної ($H=12$ см; $q_{кр}=0.842$ МПа)

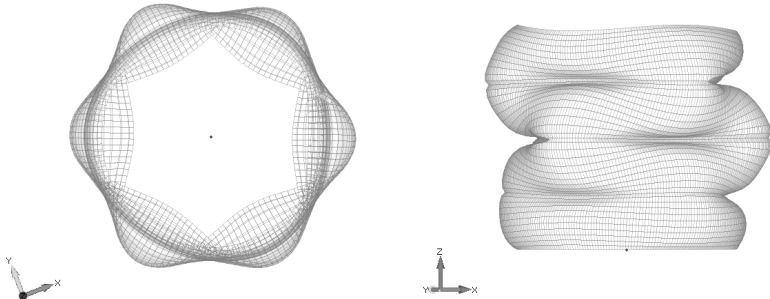


Рис. 5. Форма втрати стійкості гофрованої оболонки армованої по колу
($H=12\text{см}$; $q_{\text{кр}}=1.028\text{ МПа}$)

З графіків видно, що в основному зі збільшенням амплітуди гофри оболонка стає більш стійкою до впливу поверхневого тиску. Значення критичних навантажень при однаковій амплітуді H для оболонки, волокна якої орієнтовані по колу, більші ніж для оболонки з армуванням по твірній, окрім $H = [23 - 25]\text{см}$.

Порівняємо відношення критичних значень навантажень для гофрованих оболонок до відповідних критичних значень навантажень для гладких циліндричних оболонок у точках максимуму для двох кривих. Максимальне значення критичного навантаження для оболонки, що армована по колу, спостерігається при $H = 20\text{см}$ і становить $q_{\text{кр}} = 1.152\text{ МПа}$, для оболонки з армуванням по твірній – $H = 24\text{см}$, $q_{\text{кр}} = 1.161\text{ МПа}$. Критичні навантаження відповідно у 6 та 10 разів більші ніж значення, що отримані для гладких оболонок.

Таблиця 1

$H, \text{ м}$	арм. по твірній $q_{\text{с}}, \text{ Па}$	арм. по колу $q_{\text{с}}, \text{ Па}$	$H, \text{ м}$	арм. по твірній $q_{\text{с}}, \text{ Па}$	арм. по колу $q_{\text{с}}, \text{ Па}$	$H, \text{ м}$	арм. по твірній $q_{\text{с}}, \text{ Па}$	арм. по колу $q_{\text{с}}, \text{ Па}$
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.00	92598	186744	0.09	514867	669946	0.18	866471	1099853
0.01	95085	167883	0.10	616820	760422	0.19	900572	1144202
0.02	125625	189520	0.11	730084	859526	0.20	950266	1151833
0.03	188567	217393	0.12	842391	1028111	0.21	1013567	1142771
0.04	223136	304136	0.13	949271	1046667	0.22	1083759	1139591
0.05	305810	380859	0.14	979757	983822	0.23	1150240	1128627
0.06	373872	402331	0.15	906010	970305	0.24	1161416	1062397
0.07	384608	469311	0.16	863783	992988	0.25	1125051	1022744
0.08	434753	563691	0.17	852853	1042120			

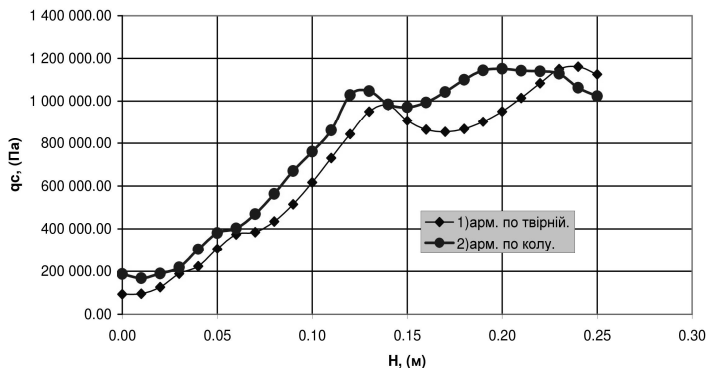


Рис. 6. Залежність критичного навантаження від амплітуди хвилі H

Результати розрахунків підтверджують, що гофрування циліндричної оболонки у поперечному напрямі позитивно впливає на її стійкість від дії поверхневого тиску [3]. Порівнюючи відношення $q_{кр}/q_{кр}^0$ для оболонок з армуванням по твірній та по колу, видно, що на перші у більшій мірі впливає наявність гофрів. Також цікавим є те, що збільшення амплітуди гофрів H неоднозначно впливає на зміну критичного навантаження, що можна пояснити зміною форм втрати стійкості при певних змінах значення H .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ванин Г.А., Семенов Н.П., Смельянов Р.Ф. Устойчивость оболочек из армированных материалов – К.: Наук. думка, 1978. – 212с.
2. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек – М.: Наука, 1974. – 448с.
3. Семенов Н. П., Жукова Н. Б., Бабич И. Ю. Устойчивость поперечно гофрированных цилиндрических оболочек при равномерном поверхностном давлении // Теор. и прикл. механика. – 2009, 45, – С.106–113.
4. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. - М.: ДМК Пресс, 2001.– 448 с.

Отримано 31.05.2010

Гаран И.Г.

УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОБОЛОЧЕК С ГОФРИРОВАННЫМИ СТЕНКАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Исследована устойчивость оболочки при действии поверхностного давления. Оценено влияние амплитуд гофр на значение критической нагрузки для оболочки с разными вариантами армирования ее стенки. Подтверждено что гофрирование цилиндрической оболочки в поперечном направлении положительно влияет на ее устойчивость при действии поверхностного давления.

Garan I.G.

STABILITY OF CYLINDRICAL FIBERGLASS SHELLS WITH CORRUGATED WALLS UNDER THE INFLUENCE OF SUPERFICIAL PRESSURE

Performed investigation of stability of the shell under the influence of superficial pressure. Influence of amplitudes of corrugation on the value of critical load for shell with variations of reinforcing its walls is evaluated. Confirmed that the corrugation of the cylindrical shell in the transverse direction has a positive effect on its stability under the influence of superficial pressure.