

УДК 624.073.4

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРИШАРОВОЇ ПІДКРІПЛЕНОЇ ОБОЛОНКИ

Ємел'янова Т.А.

ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

Вступ. Тришарові оболонки на основі важкогорючих пінопластів або орієнтованої мінеральної вати та тонколистових матеріалів активно використовуються в таких галузях промисловості, як машинобудування, суднобудування, авіація, інженерні мережі та будівництво [1,2]. Вони дозволяють вирішити проблеми зниження матеріаломісткості конструкцій при зберіганні високих характеристик міцності та жорсткості. Враховуючі порівняно невелику товщину зовнішніх шарів та малу жорсткість заповнювача, однією з основних задач при проектуванні зазначених конструкцій є розрахунок на стійкість. Для забезпечення місцевої стійкості тришарові оболонки підсилюють ребрами жорсткості [3].

Актуальність досліджень. Для вирішення питання про доцільність застосування тришарової оболонки та створення раціональної тришарової конструкції першорядне значення має правильний вибір її параметрів на основі розрахунку, що враховує специфіку роботи конструкції цього типу. При проектуванні тришарової оболонки слід мати на увазі, що модуль зсуву заповнювача G_3 у напрямку, нормальному до зовнішніх шарів, робить сильний вплив на величину критичного навантаження місцевої втрати стійкості [4]. Сучасні програмні комплекси розрахунку тришарових підкріплених оболонок, розраховані на вирішення широкого кола завдань, не можуть з достатнім ступенем точності проводити дослідження стійкості зазначених оболонок з урахуванням різних властивостей матеріалів.

Сказане вище є свідомством того, що розробка алгоритму визначення раціональних параметрів тришарових оболонкових конструкцій з легким трансверсально-ізотропним заповнювачем, що підкріплені дискретно розташованими ребрами жорсткості, чисельна реалізація яких доступна широкому колу проектувальників, є актуальною задачею.

Постановка задачі. Алгоритм визначення раціональних параметрів тришарової підкріпленої оболонки будемо на основі математичної моделі дослідження стійкості пологої тришарової оболонки з легким заповнювачем, яка підкріплена поздовжніми ребрами жорсткості [5,6].

Для визначення основних параметрів стійкості зазначеної оболонки, в комп'ютерному середовищі Wolfram Mathematica 11.0 розроблені комп'ютерні програми для параметричних досліджень параметру жорсткості (комп'ютерна програма I) та параметру критичних сил (комп'ютерна програма II) підкріпленої тришарової оболонки, що містять алгоритм дослідження стійкості, побудований на запропонованій математичній моделі.

Оптимальні з точки зору вагової віддачі параметри оболонки вибираємо шляхом розрахунку низки варіантів, які відповідають мінімуму її маси при необхідній величині навантаження.

Визначимо раціональні параметри тришарової циліндричної оболонки з легким заповнювачем, підкріпленої одним ребром жорсткості, яка працює на поздовжній стиск.

Циліндрична тришарова оболонка з радіусом серединної поверхні $R=150$ см, розмірами в плані $a = 60$ см, $b = 40$ см вільно обперта за контуром та стиснута зусиллями $T = 400$ кН/м (рис. 1). Зовнішні шари оболонки однакові за товщиною та виконані з дюралі Д-16Т ($E = 69 \cdot 10^6$ кН/м², $\mu=0,33$). Заповнювач – з пінопласту типу ФК-20 ($\mu=0,4$). Оболонка підкріплена одним ребром жорсткості прямокутного поперечного перерізу з дюралі Д-16Т.

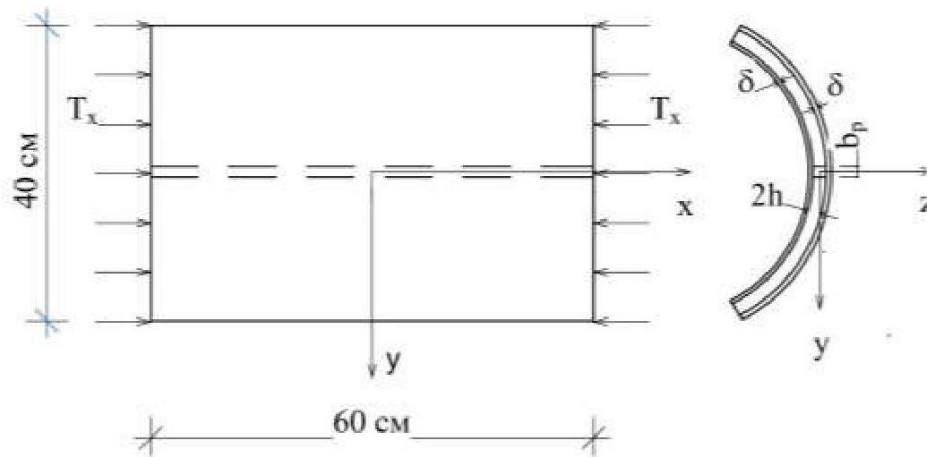


Рисунок 1 – Схема тришарової оболонки з заповнювачем із пінопласту при осьовому стиску

Результати досліджень. Необхідно визначити оптимальні розміри заданої оболонки при умові, що відношення критичного навантаження до стискаючого зусилля дорівнює 3/2.

Визначаємо величину критичного навантаження:

$$T_{кр} = \frac{3}{2} T = \frac{3}{2} 400 = 600 \frac{кН}{м} \quad (1)$$

Модуль пружності пінопласту ФК-20 визначається в залежності від щільності (ρ) та температури ($t^{\circ}C$). Відносний модуль зсуву заповнювача G_3 розраховується за формулою:

$$G_3 = 3835(\bar{\rho})^{1,5}$$

Характеристики міцності пінопласту ФК-20 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики міцності пінопласту ФК-20

$\rho, \text{кн/м}^3$	$E_{ст}, \text{кн/м}^2$	$G_3, \text{кн/м}^2$
1	600	3835
2	900	10847
3	1600	19927
4	2200	30680

Задаємося розмірами шарів оболонки: $\delta = 0,1 \text{ см}$, $h = 0,2 \text{ см}$.
Жорсткість зовнішнього шару при розтязі визначаємо за формулою:

$$B = \frac{E \cdot \delta}{1 - \mu^2} = \frac{69 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 10^{-2}}{1 - 0,33^2} = 77432 \frac{кН}{м} \quad (2)$$

Наближення 1:

1. Задаємося $G_3 = 30680 \text{ кн/м}^2$.
2. Визначаємо параметр зсуву за формулою:
- 3.

$$k_0 = \frac{\pi^2 B h}{G_3 b^2} = \frac{3,14^2 \cdot 77432 \cdot 0,002}{30680 \cdot 0,4^2} = 0,199 < 1, \quad (3)$$

що відповідає легкому заповнювачу.

4. Визначаємо параметр кривизни оболонки за формулою:

$$\alpha^2 = \frac{(1-\mu^2)b^4}{R^2\pi^4(h+0,5\delta)^2} = \frac{(1-0,33^2)b^4}{1,5^2 \cdot 3,14^4 (0,002+0,5 \cdot 0,001)^2} = 40,66 \quad (4)$$

5. Використовуючи комп'ютерну програму II для визначення параметру критичного навантаження m_t^* , та враховуючи, що m_t^* не може бути більше параметру критичного навантаження шарнірно обертої оболонки шириною $b/2$, визначаємо наближене значення $m_t^*=1,9$.
6. Використовуючи комп'ютерну програму I для визначення параметру жорсткості γ та враховуючи значення $m_t^*=1,9$, знаходимо величину параметру жорсткості $\gamma = 0,218$ оболонки, підкріпленої одним ребром жорсткості.
7. Знову використовуючи комп'ютерну програму II та враховуючи отримане значення $\gamma = 0,218$, знаходимо дійсну величину параметру критичного навантаження $m_t=2,19$ для оболонки, підкріпленої одним ребром жорсткості.
8. Значення критичного навантаження $T_{кр}$ визначаємо за формулою:

$$T_{кр} = \frac{(h+0,5\delta)^2 \cdot \pi^2 \cdot B \cdot m_t}{b} = \frac{(0,002+0,5 \cdot 0,001)^2 \cdot 3,14^2 \cdot 77432 \cdot 2,19}{0,4} = 1550 \text{ кН/м} \quad (5)$$

Величина $T_{кр}$ значно перевищує нормативну величину критичного навантаження, яка дорівнює 600 кН/м.

Наближення 2:

Задасмося наступним значенням $G_3 = 19927 \text{ кН/м}^2$ та весь розрахунок повторюємо знову.

Якщо жодне значення G_3 не наблизило $T_{кр}$ до нормативної величини, слід змінити розміри шарів оболонки та проводити подальші розрахунки $T_{кр}$ до тих пір, поки розрахункове значення не наблизиться до нормативної величини $T_{кр}=600 \text{ кН/м}$. Результати розрахунків зведені в таблицю 2. Із таблиці видно, що в шостому наближенні значення критичного навантаження достатньо близько співпадає з нормативним значенням і дорівнює $T_{кр} = 690 \text{ кН/м}$. Таким чином, раціональними параметрами оболонки є:

$$\delta = 0,05 \text{ см}, \quad h = 0,2 \text{ см}, \quad G_3 = 10847 \text{ кН/м}^2.$$

Отримавши значення параметру жорсткості $\gamma = 1,361$, можна визначити розміри ребра жорсткості.

$$\gamma = \frac{D_p}{D^* b}, \quad D_p = \lambda \cdot D^* \cdot b. \quad (6)$$

Підставляючи

$$D^* = 2B \cdot H^2, \quad H = (h+0,5\delta), \quad (7)$$

отримаємо

$$D_p = \gamma \cdot 2B \cdot b \cdot (h+0,5\delta) = 1,361 \cdot 2 \cdot 38716 \cdot 0,4 \cdot (0,002+0,5 \cdot 0,0005) = 0,213405 \text{ кН} \cdot \text{м}^2. \quad (8)$$

З іншої сторони

$$D_p = E_p \cdot I = E_p \cdot \frac{2h \cdot b_p^3}{12}, \quad (9)$$

$$b_p = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot D_p}{E_p \cdot 2h}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 213405}{690000 \cdot 0,2}} = 2,1 \text{ см} \quad (10)$$

Таким чином, розміри ребра жорсткості: $b_p = 2,1 \text{ см}$, $h_p = 2h = 0,4 \text{ см}$.

Таблиця 2 – Розрахунки для визначення раціональних параметрів тришарової циліндричної оболонки с заповнювачем із пінопласту, яка підкріплена ребром жорсткості, при поздовжньому стиску

δ , см	h , см	B , кН/м	G_3 , кН/м ²	k_0	α^2	m_t^*	γ	m_t	$T_{кр}$, кН/м
0,1	0,2	77432	3068	0,199	40,66	1,900	0,218	1,630	1550
			19927	0,307		1,620	0,333	2,700	2970
			10847	0,564		1,380	0,574	3,390	3200
0,05	0,2	38716	3068	0,099	20,56	1,888	0,425	1,586	760
			199,27	0,240		1,594	0,770	1,473	712
			10847	0,440		1,392	1,361	1,437	690
0,1	0,4	77432	3068	0,623	5,14	0,890	0,903	0,478	1840
			19927	0,960		0,846	1,196	0,556	2150
			3068	0,311		0,933	0,459	0,533	910
0,05	0,4	38716	19927	0,479	5,76	0,878	0,666	0,535	920
			10847	0,880		0,791	1,065	0,604	1040

Висновки. Розроблений алгоритм визначення раціональних параметрів тришарової пологої оболонки з легким трансверсально-ізотропним заповнювачем, що підкріплена дискретно розташованими ребрами жорсткості, в залежності від параметру кривизни та параметру жорсткості заповнювача, фізико-механічних властивостей матеріалів та розмірів тришарової підкріпленої оболонки.

Розроблений алгоритм і створений комплекс комп'ютерних програм можуть активно використовуватися при дослідженні і проектуванні інженерних конструкцій із застосуванням тришарових підкріплених оболонок. Це дозволить збільшити надійність проектування таких об'єктів при одночасному скороченні витрат на проведення експериментальних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демидов А.П., Савченко В.А. Защитные оболочки реакторных отделений зарубежных АЭС. Энергетическое строительство за рубежом. Москва: Энергоатомиздат, 1989. № 5. С. 2–7.
2. Прохоров Б.Ф., Кобелев В.Н. Трехслойные конструкции в судостроении. Ленинград: Судостроение, 1972. 344 с.
3. Григолюк Э.И., Чулков П.П. Устойчивость и колебания трехслойных оболочек.– М.: Машиностроение – 1973. – С.172.
4. Александров А.Я., Бородин М.Я. Конструкция с заполнителями из пенопластов. Москва: Оборонгиз, 1962. 212 с.
5. Емельянова Т.А. Устойчивость трехслойной пологой оболочки с легким заполнителем, подкрепленной продольными ребрами жесткости // Сборник «Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике» (по материалам Международной научно – технической конференции), Минск: УП «Технопринт». - 2001. – С. 193 – 197.
6. Емельянова Т.А. Моделювання стійкості тришарової пологої оболонки з легким заповнювачем, яка підкріплена поздовжніми ребрами жорсткості. «Вісник» Херсонського національного технічного університету. Херсон, 2011. №3(42). С. 200 – 203.