

ЛІТЕРАТУРА

[1] Способ отливки полых замкнутых сферических оболочек и устройство для его осуществления. А.с. СССР, № 1766053 от 1.06.92. (приоритет № 4238234 от 02.04.1987 г.)

[2] Методика визначення зміни механічних характеристик сферопластиків під впливом дії гідростатичного тиску УКФА 730107.009 М, Миколаїв НУК, 2019 р.

Yevgen Burdun¹, Sergiy Geyko², Tetyana Yuresko³

¹⁻³ Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The results of an experimental study of the bearing capacity of seamless spherical shells made of oxide ceramics under conditions of short-term hydrostatic loading are presented.

Keywords: seamless spherical shells, hydrostatic pressure, oxide ceramics.

УДК 629.5.015.4: 629.5.023.463

**ОСОБЛИВОСТІ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПРО ЗГИН ГОФРОВАНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ
ЯК КОНСТРУКТИВНО ОРТОТРОПНОЇ ПЛАСТИНИ
ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Клименков С.Ю.¹, Худяєв О.В.²

¹старший викладач кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
sergij.klymenkov@nuos.edu.ua;

²студент групи 511бм Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
khudyaev@ukr.net

Анотація. Запропоновано визначення модуля пружності в поперечному для гофрів напрямку для подальшого розрахунку перегородки як конструктивно-ортотропної пластини. Виконано розрахунки переміщень в поперечному до гофрів напрямку на прикладі гофрованої перегородки танкеру проекту 15966.

Ключові слова: гофровані перегородки; конструктивно-ортотропні пластини; напружено-деформований стан; модуль пружності, закон Гука.

Вступна частина. Основним недоліком розрахунків напружено-деформованого стану конструкцій в програмних комплексах САЕ є необхідність створення геометричних моделей, що мають конкретні розміри і параметри, тобто проектувальні розрахунки можливі тільки з використанням методу послідовних наближень. Отже аналітичні рішення є найбільш переважними на стадії проектування конструкцій, а перевірочні розрахунки за допомогою МСЕ-комплексів доцільні, коли основні розміри і параметри конструкції вже визначені. Розвиток сучасних математичних пакетів символьних розрахунків (Mathcad, Maple) поновлює інтерес до теоретичних рішень задач, які завдяки складності математичної частини представлялись громіздкими і незручними для практичного використання. До такої категорії задач можна віднести визначення напружено деформованого стану гофрованої перегородки під дією поперечного навантаження. На сьогоднішній час існує декілька методик теоретичного розрахунку напружено-деформованого стану гофрованих пластин. Найбільш простий викладено в [1, с. 49] коли в повздовжньому напрямку грані гофрів розглядаються як окремі призматичні балки що згинаються у площині своєї найбільшої жорсткості. Згин у площині мінімальної жорсткості не враховується. У поперечному напрямку грані розглядаються як жорсткі пластини, що вигинаються по дузі кола і можуть бути розраховані як ламана балка-смужка з жорсткими

нерухомими (в центрі) або рухомими (біля опорного контуру) вузлами. Більш точний, але з цим і більш складний спосіб, викладений в [2] ґрунтується на теорії складчастих конструкцій В.З. Власова. До недоліків такої методики слід віднести громіздкість розрахунків і неможливість, як показує автор, отримання рішень у деяких випадках. Ще один спосіб, успішно використаний у багатьох дослідженнях, зокрема й тих, що виконувалися на кафедрі будівельної механіки корабля МКІ-НУК, заснований на розгляді гофрованого полотна як конструктивно-ортотропної пластини. В деяких випадках при такому підході певні труднощі визиває визначення механічних властивостей, а саме модуля пружності і деформацій для поперечного по відношенню до гофрів напрямку.

Ціль роботи. Встановити характер розподілу поперечних деформацій у гофрованому полотні на основі розрахунків методом скінчених елементів. Проаналізувати можливі варіанти обчислення поперечних деформацій гофрів у поперечному напрямку для визначення відповідного модуля пружності ортотропної пластини.

Основна частина. Для рішення рівняння згину ортотропної пластини

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y),$$

необхідно визначити параметри жорсткості:

$$D_1 = \frac{E_1 t^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}; \quad D_2 = \frac{E_2 t^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}; \quad D_K = \frac{G t^3}{12};$$

$$D_3 = 2D_K + D_1 \mu_2 = 2D_K + D_2 \mu_1,$$

де E_1, E_2, μ_1, μ_2 – модулі пружності і коефіцієнти Пуассона вздовж лінії гофрів (напрямок 1) і перпендикулярно до неї (напрямок 2) [3, с.620].

В напрямку 1 модуль пружності визначається з рівності видовження ортотропної пластини Δl_1 і відокремленого гофра $\Delta l'_1$ відповідно до закону Гука при розтяганні під дією в напрямку l_1 деякої сили P :

$$\Delta l_1 = \frac{P l_1}{E_1 d t}; \quad \Delta l'_1 = \frac{P l_1}{E(2a + 2b)}; \quad E_1 = \frac{b + a}{b \cos \varphi + a} E,$$

де a, b, φ – геометричні параметри гофрів (рис. 1).

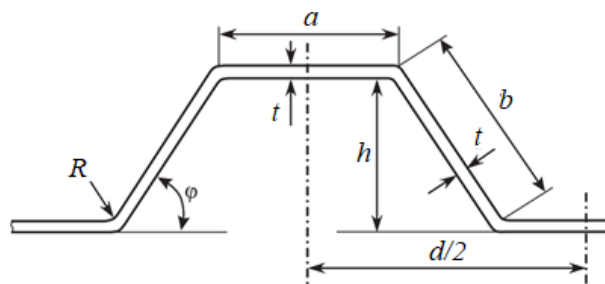


Рисунок 1 – Поперечний переріз гофра

У другому напрямку деформація гофрів $\Delta l'_2$ може бути визначена як видовження верхньої та нижньої граней від розтягання і похилих – від згину з розтяганням. Зміщення похилої грані буде дорівнювати горизонтальній проекції прогину консольної балки одиначної ширини, жорстко закріпленої на верхній грані (рис. 2) і горизонтальній проекції від її видовження:

$$\bar{f} = \frac{4pb^3}{Et^2} (\sin \varphi)^2 + \frac{pb}{E} (\cos \varphi)^2, \quad P = p \cdot 1 \cdot t.$$

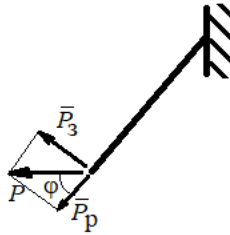


Рисунок 2 – Розрахункова схема згину похилої грані

Тоді видовження в напрямку l_2 і модуль пружності визначаються як:

$$\Delta l_2 = \frac{pd}{E_2}; \quad \Delta l'_2 = \frac{2p}{E} \left(a + b(\cos \varphi)^2 + \frac{4b^3}{t^2} (\sin \varphi)^2 \right);$$

$$E_2 = \frac{a + b \cos \varphi}{a + b(\cos \varphi)^2 + \frac{4b^3}{t^2} (\sin \varphi)^2} E.$$

Як бачимо перші два доданки в дужках формули видовження $\Delta l'_2$ на декілька порядків менші за третій, тож видовження в поперечному напрямку визначається майже тільки згинами похилих граней.

На рис.3 представлена епюра переміщень окремого гофру під дією розтягуючого навантаження в поперечному до гофрів напрямку, розрахована в комплексі SolidWorks при: $a = 0,84$ м; $b = 1,124$ м; $t = 0,022$ м; $\varphi = 60^\circ$.

Ліва крайка жорстко затиснута, на праву прикладений рівномірний тиск $p = 1$ кПа. Модуль пружності сталі $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па.

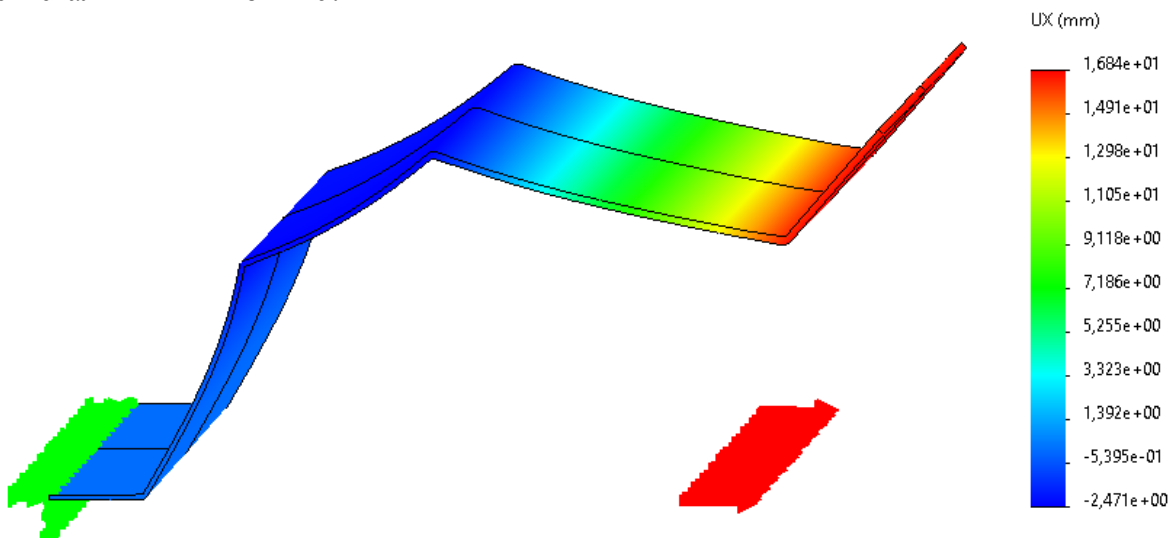


Рисунок 3 – Епюра переміщень в поперечному до гофрів напрямку

Розраховане за наведеною формулою зміщення складає

$$\Delta l'_2 = \frac{2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^{11}} \left(0,84 + 1,124(\cos 60)^2 + \frac{4 \cdot 1,124^3}{0,022^2} (\sin 60)^2 \right) = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

при значенні $E_2 = 31,85$ МПа.

Геометричні параметри взяті з реальної конструкції – гофрованої перегородки танкера проекту 15966, однак було змінено кут нахилу бокових граней з 80 до 60° у відповідності до оптимальної форми перерізу гофрів [4].

Як видно, визначені двома способами переміщення мають значну розбіжність, хоча визначений модуль пружності E_2 менший на 4 порядки за модуль пружності повздовжнього напрямку, як відмічалось в [1].

Висновки. Знайдений за формулою модуль пружності в поперечному до гофрів напрямку дає значну розбіжність при визначенні переміщень у порівнянні з МСЕ при заданих параметрах. Таким чином, викладений підхід до розглядання гофрованого полотна як конструктивно-ортотропної пластини потребує подальших уточнень і визначення меж застосовності. Також інтерес для подальших досліджень представляє визначення максимальних напружень в гофрах у складі перекриття і порівняння їх з такими ж напруженнями, визначеними за різними методиками, зокрема з використанням МСЕ.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Васильев А.Л., Глозман М.К., Павлинова Е.А., Филиппео М.В. Прочные судовые гофрированные переборки. . Ленинград: Судостроение, 1964. 316с.
- [2] Васильев А.Л. Экспериментальное исследование работы переборки с горизонтальными коробчатыми гофрами на поперечную нагрузку. Авт. дис. канд. техн. наук, Ленинград: ЛКИ, 1956.
- [3] Суслов, В.П., Кочанов, Ю.П., Спихтаренко, В.Н. *Строительная механика корабля и основы теории упругости*. Ленинград: Судостроение, 1972. 720с.
- [4] Клименков С.Ю. Оптимизация геометрических параметров коробчатого гофра по условию прочности. Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв: НУК, 2017, 123-124.

Peculiarities of the solving of corrugated bulkhead bending problem as a constructively orthotropic plate under the transverse loading.

Serhii Klymenkov¹, Oleksandr Khudiaiev²

¹⁻²Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. It is proposed to determine the modulus of elasticity in the transverse direction to corrugations for further calculation of the bulkhead as a constructively-orthotropic plate. Calculations of elongations in the transverse direction to the corrugations in example of the corrugated bulkhead of project 15966 tanker were performed.

Keywords: corrugated bulkheads; constructively-orthotropic plates; stress-strained state; elasticity modulus, Hooke's law.

УДК 629.5.012

О РАСЧЕТЕ ОБЩЕЙ ХОДОВОЙ ВИБРАЦИИ ТАНКЕРА

Шарун Г.В.¹, Калашник Д.И.²

¹старший преподаватель кафедры строительной механики и конструкции корпуса корабля Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, Украина, Николаев
grygorii.sharun@nuos.edu.ua

²магистрант кафедры строительной механики и конструкции корпуса корабля Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, Украина, Николаев
kalashnik@nik.uspa.gov.ua

Аннотация. Выполнены расчет общей ходовой вибрации танкера и сравнение результатов с экспериментальными данными. Расчет выполнен при балочной схематизации