

Бурдун Е.Т., канд. техн. наук, профессор, Белая С.Ф., аспирантка

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

**УРАВНЕНИЕ ИЗГИБА ТОНКОСТЕННОЙ ОРТОТРОПНОЙ ТОРОИДАЛЬНОЙ
ОБОЛОЧКИ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

УДК 629.584, 539.3

В последние десятилетия в подводном судостроении идет интенсивная разработка новых подводно-технических средств. С началом применения в подводном судостроении полимерных композиционных материалов (ПКМ) стало возможным использование новых конструкторских решений и технологических процессов. Применение ПКМ позволило значительно уменьшить массу, что в сочетании с достаточными физико-механическими характеристиками позволяет получить материал с удельной прочностью, которая может в 10 раз превышать удельную прочность высокопрочной стали [1].

Эффективный способ формообразования оболочечных конструкций прочных корпусов подводно-технических средств из ПКМ есть метод намотки. Намотка ПКМ позволяет изготавливать изделия практически любых размеров и максимально реализовать показатели физико-механических характеристик волокнистых ПКМ.

Поиск новых эффективных решений для форм подводно-технических средств, которые обладали бы хорошими гидродинамическими характеристиками, приводит к выбору тороидальной оболочки, как формы прочного корпуса [2]. Такой выбор обусловлен преимуществами данной оболочки, так тороиды мало чувствительны к несовершенству геометрии, а использование метода намотки позволяет значительно упростить создание композитной тороидальной оболочки, нежели аналогичной оболочки, но сделанной с металла.

Прочные корпуса в форме тора не могут быть наборными. Расположить ребра снаружи корпуса не дает межслоевой сдвиг, а внутри корпуса ребра будут занимать полезное пространство. Поэтому тороидальные оболочки делают толстыми. В результате спиральной намотки укладка волокон сгущается во внутреннем экваторе что приводит к переменной толщине в сечении тора. А при использовании

продольно-поперечної намотки, поперечний моношар буде мати перемінну товщину за рахунок більш щільної упаковки на внутрішньому екваторі оболонки [3].

Розв'язання задачі про напружено-деформований стан тонкостінної ортотропної тороїдальної оболонки як міцного корпусу підводно-технічних засобів є одним з основних в проектуванні.

Розглянемо ортотропну тороїдальну оболонку перемінної товщини, середня поверхня якої визначається рівняннями:

$$x_1 = (R + a \cos \varphi_1) \cos \varphi_2, \quad x_2 = (R + a \cos \varphi_1) \sin \varphi_2, \quad x_3 = a \sin \varphi$$

Система диференціальних рівнянь такої оболонки взята в відповідності з загальної технічної моментної теорії В.З. Власова [4].

Особливістю отриманої системи диференціальних рівнянь є те, що функції переміщень є функції кутів φ_1 і φ_2 : $u(\varphi_1, \varphi_2)$, $v(\varphi_1, \varphi_2)$, $w(\varphi_1, \varphi_2)$.

Рівняння вигину ізотропних тороїдальних оболонок в криволінійних координатах на початку містять перемінні коефіцієнти. Перемінна товщина призводить до того, що жорсткість суттєво змінюється по перерізу тора. Це означає, що рівнянням вигину ізотропної тороїдальної оболонки ускладнюється врахування змін товщини та фізичних характеристик по перерізу тора, які за нашими даними раніше в роботах не враховувалися.

При гідростатичному стисненні міцного тороїдального корпусу задача має вісь симетрії (вісь великого кола). Для осесиметричної задачі $m=0$ і задача зводиться до системи 2-х диференціальних рівнянь відносно функцій $u_0(\varphi_1)$ і $w_0(\varphi_1)$ [5].

Розв'язання цієї системи отримано методом розділення змінних. При цьому по великому колу функції u_m і w_m вибрані в формі:

$$u = \sum_m u(\varphi_1) \cos \mu_m \varphi_2, \quad w = \sum_m w(\varphi_1) \cos \mu_m \varphi_2$$

де $\mu_m = \frac{m \times \pi}{2 \times b}$, $m=0, 1, \dots, \infty$.

До розв'язання системи застосовано метод Бубнова-Галеркіна, що дозволило обчислити коефіцієнти.

Для прикладу виконані чисельні розрахунки розподілу функцій прогинів і функцій погонних зусиль і моментів по меридіану.

Выводы:

- впервые получена система линейных дифференциальных уравнений изгиба ортотропной оболочки переменной толщины с переменными по меридиану упругими свойствами, которые учитывают переменную толщину и изменение свойств по меридиану от укладки нити при намотке как спиральной, так и продольно-поперечной.
- для осесимметричного нагружения тора гидростатическим сжатием решение системы доведено до численного анализа закономерностей распределения прогибов и погонных усилий и моментов в оболочке по меридиану, что позволяет выполнить расчеты прочности таких оболочек.

Список литературы. 1. **Zimmerman S.** Submarine Technology for the 21 st Century – Trafford Publishing, 2000. – 230 p. 2. Заявка на винахід Україна «Підводне судно типу «пірнаюче блюдо» підвищеної маневреності», №201209690, МПК В63G 8/00, автори Бурдун Є.Т., Крептюк А.В. 3. **Крептюк, А.В.** Проектирование и метод расчета устойчивости композитных тороидальных прочных корпусов подводных технических средств, полученных продольно-поперечной намоткой [Текст] / А.В. Крептюк // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. ОНМУ. – 2011. – №2. – С. 113-127. 4. **Власов, В.З.** Избранные труды. [Текст] / В.З. Власов Т.1. – М.: Изд. АН СССР, 1962. – 528с. 5. **Гребенюк, С.Н.** Напряженно-деформированное состояние тороидальных оболочек [Текст] / С.Н. Гребенюк, Ю.А. Сысоев, Н.Ю. Сысоев // Вестник Запорожского национального университета. – 2010. – №2 – С. 24-28.