

УДК 628.5:539.37.276

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДУЛІВ ПЛАВУЧОСТІ КУБІЧНОЇ ФОРМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СФЕРИЧНИХ ОБОЛОНОК ІЗ КЕРАМІКИ**Бурдун Є. Т.,***кандидат технічних наук,**професор, кафедра будівельної механіки і конструкції корпусу корабля**evgeniy.burdun@nuos.edu.ua***Гейко С. П.,***кандидат технічних наук,**доцент, кафедра будівельної механіки і конструкції корпусу корабля**geykosp@gmail.com***Петрюк О. В.,***асистент, кафедра будівельної механіки і конструкції корпусу корабля**olha.petriuk@nuos.edu.ua**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна.*

Анотація. Із умови незбуреного напружено деформованого стану при дії гідростатичного тиску розроблені рекомендації щодо вибору геометричних і фізичних параметрів матеріалів матриці та порожнистих замкнених сферичних оболонок із кераміки при конструюванні блоків плавучості підводної техніки.

Ключові слова. синтактична піна, плавучість, керамічна оболонка

Вступна частина. У глибоководній техніці блоки додаткової плавучості розміщують у вільних від конструкції та обладнання об'ємах між міцним та легким корпусом. Таким чином, вони мають складну просторову конфігурацію, що реалізується із окремих модульних елементів. Найпростіша форма композиційних модулів – кубічна, що ефективно використовує сферичні оболонки із кераміки у якості наповнювача.

Мета роботи. Експериментальне визначення значення руйнівного гідростатичного тиску на кубічний модуль p_m (МПа), ролі зв'язуючого у підвищенні несучої здатності модуля порівняно з руйнівним тиском p_o (МПа) керамічної оболонки, що розміщена у центрі куба, та розробка фізично обґрунтованих рекомендацій щодо вибору оптимальних геометричних параметрів оболонки із кераміки.

Основна частина. Для експериментального дослідження залежності коефіцієнта підвищення гідростатичної міцності модуля плавучості $f = \frac{p_m}{p_o}$ при гідростатичному стисканні були виготовлені зразки оболонок з зовнішнім діаметром 46 мм і товщиною стінки δ_o з уявною густиною в інтервалі $220 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \leq \rho_o \leq 450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ із хімічно стійкої порцеляни та кубічні модулі зі стороною 50 мм з оболонками, що занурені у синтактичну піну (матрицю) густиною $\rho_o = 650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (модуль пружності $E_c=2800$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu_c=0,32$).

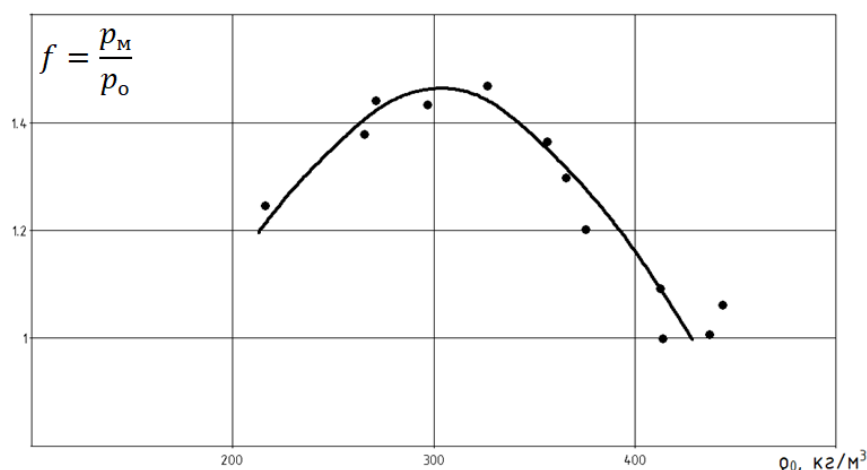
Осереднені результати випробувань окремих партій оболонок і модулів плавучості по визначенню відповідних руйнівних тисків у гідростатичному стенді (до 100 МПа) наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Осереднені результати випробувань окремих партій сферичних оболонок із хімічно стійкої порцеляни і кубічних модулів плавучості.

№ партії	Уявна густина оболонки $\rho_o, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Середньо-статистичний руйнівний тиск, МПа		Коефіцієнт $f = \frac{p_m}{p_o}$
		p_o	p_m	
1	270	31	42	1,37
2	330	41	50	1,20
3	360	47	64	1,30
4	420	60	60	1,00
5	420	60	65	1,10
6	440	64	67	1,04
7	450	66	69	1,07
8	380	51	60	1,20
9	300	51	68	1,43
10	310	38	55	1,46
11	330	41	60	1,45
12	270	31	44	1,43
13	220	22,5	31	1,25

На графіку (рис. 1) наведена залежність коефіцієнта $f(\rho_o)$ від уявної густини оболонки. Апроксимація цієї залежності методом найменших квадратів (суцільна лінія) дала:

$$f(\rho_o) = 3,47 \cdot 10^{-5} (630\rho_o - \rho_o^2 - 57,2 \cdot 10^3), \text{ при } 220 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \leq \rho_o \leq 450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (1)$$

**Рис. 1.** Залежність коефіцієнта f від уявної густини оболонки ρ_o

Максимум підвищення міцності модуля $f_{max}=1,46$ досягнуто в експериментах з оболонкою із уявною густиною $\rho_o^e = 315 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. При цьому параметри оптимальної оболонки були $\left(\frac{R_o}{\delta_o}\right)_e = 23,6$, $\delta_o = 1$ мм, $K_o^e=2590$ МПа.

Фізичне обґрунтування оптимальної конструкції оболонки полягає у розгляді її напружено-деформованого стану у складі модуля, що не є збуреним при гідростатичному навантаженні. Відсутність концентрації напружень на межі оболонка-матриця буде при умові, якщо модуль об'ємної деформації оболонки $K_o = \frac{2E_o}{3(1-\mu_o)} \frac{\delta_o}{R_o}$ дорівнює модулю об'ємного стискання ізотропного матеріалу матриці (синтактик) $K_c = \frac{E_c}{3(1-2\mu_c)}$:

$$K_o = K_c \quad (2)$$

Реалізація умови (2) дає оптимальну теоретичну оцінку співвідношення геометричних параметрів керамічної оболонки у складі модуля

$$\left(\frac{R_o}{\delta_o}\right)_T = \frac{2E_o(1-2\mu_c)}{E_c(1-\mu_o)} \quad (3)$$

Для оболонки із хімічно стійкої порцеляни ($R_o=23\text{мм}$, $\delta_o = 1\text{ мм}$) теоретичне значення уявної густини оболонки $\rho_o^T = 302 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ($K_o^T = 2590\text{ МПа}$). Умова (2) виконується.

Значення густини оболонки теоретичне $\rho_o^T = 302 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ та експериментальне $\rho_o^e = 315 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ мають розбіжність всього в 4,6%.

Отже, умова (2) надійно працює для кубічного модуля плавучості зі сферичною оболонкою із кераміки і може бути рекомендована у якості практичної реалізації для розробки оптимальних конструкцій таких модулів.

Зі зменшенням у складі кераміки частка глинозему її модуль E_o суттєво знижується. Теоретичні оцінки для оптимальних модулів із високоглиноземистої порцеляни ($\frac{R_o}{\delta_o} = 42,9$, $\rho_o = 168 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) і корунду ($\frac{R_o}{\delta_o} = 128_e$, $\rho_o = 98 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) свідчать про те, що реалізація умови (2) з синтактиком $\rho_c = 650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ з високоглиноземистою порцеляною можлива. При мінімальній технологічній товщині стінки $\delta_o = 0,8\text{ мм}$ діаметр оболонки буде $D_o = 69\text{ мм}$, що реально. Для корунду $D_o = 209\text{ мм}$, що нереально виконати, особливо при забезпеченні сферичності оболонки. В лабораторії НУК надійно реалізовано виготовлення безшовних оболонок постійної товщини з інтервалом діаметрів від мінімальних 30 мм до максимальних 250 мм. Тому для виготовлення оболонок з оптимальним діаметром більшим 70 мм модуль пружності кераміки E_o слід зменшити, тобто перейти на фаянс або, навіть, обпечену глину. Все це стосується тільки модулів плавучості, що виготовляються методом заливки рідкого матеріалу матриці у форму. Якщо у модулі організувати вільний зазор між оболонкою і матрицею ефективними стають високоглиноземиста порцеляна та корунд.

Висновки.

- Умова оптимального поєднання керамічної оболонки та матеріалу матриці модуля (2) є конструктивною для обґрунтування оптимального складу кубічних модулів плавучості.
- Збільшення жорсткості оболонок (товщини δ_o і її уявної густини ρ_o) не призводить до зміцнення модуля плавучості через виникнення концентрації напружень на межі оболонка-матриці. Слабкою ланкою тут є крихка синтактична піна, що руйнується першою.
- Нераціональним є полегшення модулів відносно оптимальної конструкції за рахунок зменшення δ_o (та ρ_o). У цьому випадку слабшою ланкою стає оболонка, що руйнується першою.
- Руйнування модулів плавучості при їх виготовленні за рахунок полімеризаційної усадки матеріалу матриці в діапазоні густин $220 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \leq \rho_o \leq 450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ не спостерігалось. При $\rho_o < 220 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ розтріскувалась оболонка, при $\rho_o > 450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ розтріскувалась матриця.
- Реально із трьох розглянутих варіантів кераміки сумісну роботу оболонки і матриці можливо організувати тільки для оболонок із порцеляни у межах діаметрів оболонок 40-70 мм. Для реалізації оболонок більших діаметрів необхідно перейти на кераміку з пониженим модулем пружності, наприклад, фаянс, майоліка і, навіть, обпечена глина з глазуруванням.
- Для ефективного використання високоглиноземистої кераміки, корунду та інших жорстких керамік для цілей глибоководних плавучостей краще відмовитися від сумісної роботи оболонки з матрицею, тобто організувати зазор між ними, заповнений водою.

Optimization of parameters of cubic buoyancy modules made of spherical ceramic shells

Burdun E. T., Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of construction mechanics and hull construction of the Admiral Makarov National University of shipbuilding

Geiko S. P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of construction mechanics and hull construction of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Petryuk A.V., Assistant Professor, Department of construction mechanics and hull construction of the Admiral National University of Shipbuilding

Abstract. The recommendations are developed for geometric and physical parameters of matrix materials and hollow closed spherical ceramic shells, used in the design of buoyancy blocks for underwater equipment, under the hydrostatic pressure within the unperturbed stress-strain state.

Keywords. Synthetic foam, buoyancy, ceramic shell

УДК 629.56

КОНСТРУКТОРСЬКІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПЛАВУЧИХ СПОРУД ДЛЯ ЗБИРАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ З РІЧКОВИХ АКВАТОРІЙ

Казимиренко Ю. О., доктор технічних наук, доцент, професор кафедри матеріалознавства і технології металів, yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua

Дрозд О. В., кандидат технічних наук, доцент, декан енерготехнічного факультету Херсонського навчально-наукового інституту, oksanadrozd183@gmail.com

Савочкіна В. В., викладач кафедри теорії та проектування суден, vira.savochkina@nuos.edu.ua

Морозова Г. С., старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій, amorozova711004@gmail.com

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Анотація. В роботі проаналізовано та визначено конструкторські і технологічні передумови для модернізації позасуднових плавучих споруд, які призначені для збирання небезпечних предметів з річкових акваторій. Для досліджень застосовано системний підхід, за прототип обрано конструкторську модель баків для зберігання радіоактивних відходів на плавучих спорудах. Запропоновано використання нових композиційних матеріалів і покриттів.

Ключові слова: плавучі споруди, завантаженість, системно-аналітичне дослідження, ізоляція, знімні покриття, композиційні матеріали.

У наслідок повномасштабного вторгнення росії річкові акваторії півдня України забруднені небезпечними предметами, що вимагатиме їх вилучення, знешкодження, ізоляції та утилізації. За даними ДСНС станом на 12 вересня 2022 р. «загальна площа потенційно забруднених вибухонебезпечними предметами акваторій України становить близько 16 тис. квадратних кілометрів» [1]. Це уламки снарядів, міни, хімічні речовини та сміття невідомого походження, які знаходяться на дні та поверхні річок, водоймів, водосховищ, прибережній зоні Азовського і Чорного морів, гідротехнічних споруд та морських портів. Для очищення дна, збирання та транспортування сміття у сучасній практиці застосовуються судна і плавучі засоби технічного та екологічного флоту [2]. У відкритому доступі обмежена кількість робіт, присвячених їх проектуванню. Проте на даний час поповнення технічного і екологічного флоту позасудновими плавучими засобами, призначених для збирання небезпечних предметів є важливою науково-технічною проблемою, часткове вирішення якої включає у себе модернізацію існуючих суден за рахунок конструктивного удосконалення.