

DOI 10.15589/jnn20160405
УДК 629.5
Ю-68

IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF MANNED UNDERWATER VEHICLES BY HEAT INSULATING BUOYANCY BLOCKS

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВОДНИХ НАСЕЛЕНИХ АПАРАТІВ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧИМИ БЛОКАМИ ПЛАВУЧОСТІ

Tetiana A. Yuresko
tyuresko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4197-1677

Т. А. Юреско,
асист.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. Improvement of the design of manned underwater vehicles with heat insulating buoyancy blocks has been considered. It is achieved by replacing some of the core buoyancy elements with blocks made of syntactic foam with additional porosity in the form of solid shells covering the spherical pressure hull from the outside. Besides increasing the buoyancy force, it allows keeping the heat inside the vehicle during long dives to depths of 1500–2000 m and in emergency situations in case of power failure on board, which increases the crew's safety. The calculations were performed on the example of the manned underwater vehicle «Langust» with the corresponding technical specifications. The optimal thickness of the insulating blocks is determined under the temperature conservation during at least 15 hours in case of emergency. Damageability and changes of thermal characteristics of the blocks made of syntactic foam with additional porosity under operating conditions are predicted. Changes in the forces maintaining the units as a part of the hull construction due to the accumulated damage and changes of temperature in an inhabited compartment are predicted.

Keywords: manned underwater vehicle; heat insulating blocks; syntactic foam with additional porosity; damageability; buoyancy.

Анотація. Представлено варіант удосконалення конструкції підводного населеного апарату шляхом заміни частини основних елементів плавучості на блоки зі сферопластику з додатковою поруватістю у формі суцільної шкарлупи, що зовні облицьовують сферичний міцний корпус.

Ключові слова: підводний населений апарат; теплоізолюючі блоки; сферопластик з додатковою поруватістю; пошкоджуваність; плавучість.

Аннотация. Представлено вариант усовершенствования конструкции подводного обитаемого аппарата путем замены части основных элементов плавучести на блоки из сферопластика с дополнительной пористостью в форме сплошной скорлупы, которая внешне облицовывает сферический прочный корпус.

Ключевые слова: подводный обитаемый аппарат; теплоизолирующие блоки; сферопластик с дополнительной пористостью; повреждаемость; плавучесть.

REFERENCES

- [1] Blintsov V. S., Krasnykh O. V. *Suchasni завдання створення підводних апаратів роботів для пошуків та спеціальних операцій* [Current tasks of developing underwater robots for search and special operations]. *Підводна техніка і технологія (PTT-2011): Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю* [Underwater Engineering and Technology (UET-2011): Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference with International Participation]. Mykolaiv, 2011, pp. 155–158.
- [2] Burdun Ye. T., Yuresko T. A., Kochanov V. Yu. *Modelirovaniye povrezhdayemosti i izmeneniya teploprovodnosti blokov plavuchesti na osnove sintaktika v usloviyakh ekspluatatsii* [Modeling damageability and changes in thermal conductivity of buoyancy blocks on the basis of syntactic foam under operating conditions]. *Zb. nauk. prats NUK — Collection of Scientific Publication of NUS*, 2008, no. 3 (420), pp. 4–51.
- [3] Burdun Ye. T., Yuresko T. A., Kochanov V. Yu. *Modelirovaniye povrezhdayemosti i izmeneniya teploprovodnosti blokov plavuchesti na osnove sintaktika pri klimaticheskikh ispytaniyakh* [Modeling damageability and changes in thermal conductivity of buoyancy blocks on the basis of syntactic foam under climatic tests]. *Zb. nauk. prats NUK — Collection of Scientific Publication of NUS*, 2008, no. 5, pp. 55–60.

- [4] Burdun Ye. T., Kochanov V. Yu., Yuresko T. A. *Primeneniye teorii diffuzii dlia prognozirovaniya vodopogloshcheniya konstruksyy dopolnitelnoy plavuchesti na osnove sfero plastika* [Application of the diffusion theory for predicting water absorption of the additional buoyancy structures on the basis of syntactic foam]. *Zb. nauk. prats NUK — Collection of Scientific Publication of NUS*, 2010, no. 2 (431), pp. 61–67.
- [5] Burdun Ye. T., Solomoniuk N. S. *Rezultaty doslidzhennia vlastyvostei blokov plavuchosti z pinoskla dlia pidvodykh aparativ* [Results of the study of the properties of foam glass buoyancy blocks for underwater vehicles]. *Zb. nauk. prats NUK — Collection of Scientific Publication of NUS*, 2010, no. 3, pp. 32–38.
- [6] Voytov D. V. *Podvodnyye obitayemyye apparaty* [Manned underwater vehicles]. Moscow, Astrel Publ., 2002. 189 p.
- [7] Dmitriyev A. N. *Proektirovaniye podvodnykh apparatov* [Designing of underwater vehicles]. Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1994. 324 p.
- [8] Kazimirenko Yu. A. *Perspektivy primeneniya v sudostroyenii kompozitsionnogo materiala mnogootraslevogo naznacheniya — sintakticheskogo penostekla* [Prospects for application of the multi-purpose composite material — syntactic foam glass — in shipbuilding]. *Zb. nauk. prats UDMTU — Collection of Scientific Publication of USMTU*, 2001, no. 2 (374), pp. 132–139.
- [9] Kopyka S. V. *Eksperimentalnoye issledovaniye povrezhdayemosti sferoplastikov* [Experimental study of the syntactic foam damageability]. *Zb. nauk. prats NUK — Collection of Scientific Publication of NUS*, 2006, no. 3 (408), pp. 48–56.
- [10] Narusbayev A. A. *Katastrofy v morskikh glubinakh* [Catastrophes in sea depths]. Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1989. 67 p.
- [11] Yuresko T. A. *Sferoplastik kak teplovaya izolyatsiya obitayemykh podvodnykh tekhnicheskikh sredstv* [Syntactic foam as thermal insulation for manned underwater vehicles]. *Vestnik Astrakhanskogo gos. tekhn. un-ta. Seriya: morskaya tekhnika i tekhnologiya — Bulletin Of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering And Technologies*, 2014, no. 2, pp. 21–26.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При дослідженнях морських глибин і проведенні аварійно-рятувальних робіт часто виникає необхідність у використанні підводних населених апаратів (ПНА) для більш оперативного керування та мобільності.

В конструкції ПНА одним із важливих елементів є блоки плавучості, що забезпечують необхідну силу підтримання та остійність апарату. У ПНА, що працюють на середніх і великих глибинах, міцному корпусу не вистачає плавучості і для зрівноваження маси апарату, цей недолік компенсують шляхом розміщення блоків плавучості за бортом у вигляді поплавців. Як закладні елементи плавучості, блоки розміщують у вільних місцях конструкції ПНА, тому конфігурація і розміри блоків найрізноманітні (апарат «Аргобуй» [1]). Інший варіант розміщення блоків — всередині між міцним та легким корпусом (ПНА «Мир 1» та «Бестер» [6]), а також як заповнювач тришарових конструкцій.

Однією з умов населеності, враховуючи низькі температури води на глибині (0...+4 °С), є підтримання нормальної для життєдіяльності людини температури всередині ПНА, що забезпечують бортові теплогенеруючі пристрої.

Аварійні ситуації на борту апарату, які виникають внаслідок технічних несправностей, часто супроводжуються знеструмленням. Припинення електрообігріву ПНА на тривалий час, до 10 год і більше, веде до поступового охолодження внутрішнього простору,

що може викликати у людини гіпотермію і привести до загибелі [10].

З метою вирішення даної проблеми, запропоновано удосконалити конструкцію ПНА для глибин занурення 1500–2000 м шляхом заміни частини основних елементів плавучості на блоки у формі суцільної шкарлупи, що зовні облицьовують сферичний міцний корпус.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Традиційні теплоізолюючі блоки із легковагомих спінених матеріалів (піно та поропласти) мають низький показник співвідношення між гідростатичною міцністю і густиною, обмежені за глибиною занурення до 150–200 м. Блоки плавучості на основі піноскла добре працюють в зонах гідротермальних джерел з температурою експлуатації до 400 °С, мають високе водопоглинання в режимі циклічних занурень-вспливань, а отже, і низькі теплоізоляційні показники [5]. Блоки плавучості на основі синтактичного піноскла (матеріал зі спечених скляних мікросфер) з коефіцієнтом теплопровідності 0,035–0,04 Вт/(м·К), мають значну відкриту поруватість (до 25%), та, як наслідок, високе водопоглинання, що обмежує глибину експлуатації до 100–200 м [8]. Блоки зі сферопластика (густиною 600–650 кг/м³) стійкі до водопоглинання, експлуатуються на глибинах 10000–12000 м, однак мають достатньо високе значення теплопровідності 0,13 Вт/(м·К) і високу вартість [9].

Для надання додаткової плавучості підводному засобу і теплоізоляції міцного корпусу перспективними є блоки плавучості зі сферопластика з додатковою поруватістю (СДП) густиною $450–500 \text{ кг/м}^3$ з коефіцієнтом теплопровідності $0,085 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ [2].

В процесі експлуатації під впливом тривалого гідростатичного навантаження, характерного для стаціонарного режиму роботи ПНА при зануреннях на глибини, і цикло-гідростатичного навантаження, яке виникає при періодичних зануреннях та спливаннях на поверхню в умовах температур повітря нижче за $0 \text{ }^\circ\text{C}$, блоки плавучості накопичують пошкодження [2, 3]. Це призводить до зниження теплоізоляційних властивостей СДП та погіршення теплового захисту міцного корпусу, також зменшується плавучість блоків, що впливає на удиферентування всього ПНА. Отже, виникає необхідність удосконалити методику проектування підводного апарату з урахуванням втрати плавучості і зміни температури всередині міцного корпусу апарату внаслідок накопичення пошкоджень в додаткових блоках зі СДП при експлуатаційних навантаженнях

МЕТА РОБОТИ — удосконалити конструкцію ПНА шляхом заміни частини основних елементів плавучості на блоки у вигляді суцільної шкарлупи, яка зовні облицьовує міцний корпус з призначенням на стадії проектування ресурсу роботи блоків з урахуванням умов експлуатації.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Проектування баластної та крено-диферентної системи ПНА проводиться за правилами кораблебудування і відпрацьованими типовими технічними рішеннями [7].

Блоки плавучості зі СДП у вигляді суцільної шкарлупи, розташовуються симетрично відносно міцного корпусу апарату, і при накопичених в процесі експлуатації пошкодженнях зберігають свої початкові розміри та конфігурацію. Це забезпечує остійність апарату при частковому накопиченні пошкоджень в блоках

плавучості. Тому, при проектуванні необхідно враховувати зміну лише диференту та втрату плавучості апарату, а також зміну температурного режиму всередині міцного корпусу.

Проведені дослідження та отримані математичні моделі [2–4], дозволяють на стадії проектування ПНА розрахувати середній обсяг накопичених пошкоджень в блоках плавучості зі СДП у відповідності до заданих технічних вимог: робочий тиск при глибині занурення апарату P , МПа; тривалість знаходження апарату на глибині τ , год; кількість циклів N занурень-підйомів апарату на поверхню в умовах низьких температур повітря (нижче $0 \text{ }^\circ\text{C}$).

Удосконалення конструкції з позиції теплозахисту ПНА шляхом заміни частини блоків плавучості на суцільну шкарлупу зі СДП, розглянуто на прикладі ПНА з розмірами сферичного міцного корпусу апарату «Лангуст» (рис. 1) для глибин занурення від $1500–2000 \text{ м}$.

Початкові теплофізичні характеристики блоків зі СДП наведено у табл. 1, задані технічні вимоги до експлуатації ПНА — у табл. 2.

Товщина блоків зі СДП в складі апарату визначалась з умов: збереження температури всередині корпусу не нижче критичного рівня $T_{\text{кр}} = +10 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 12–15 год. у випадку знеструмлення і вільного занурення ПНА при заданому режимі:

$$F_{\text{тех.зс}} > F_{\text{в}} + F_{\text{пл}}, \quad (1)$$

де $F_{\text{тех.зс}}$ — сила тяжіння ПНА; $F_{\text{в}}$ — сила плавучості (підтримання) конструкції апарату; $F_{\text{пл}}$ — сила плавучості, яку створюють теплоізолюючі блоки зі СДП товщиною δ в складі конструкції та елементи плавучості, що кріпляться на раму.

Виконані розрахунки, з урахуванням значення критичного діаметру ізоляції, показали, що умова (1) виконується при товщинах блоку $\delta \leq 0,20 \text{ м}$.

Розраховано час охолодження внутрішнього простору ПНА від початкової температури $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ до

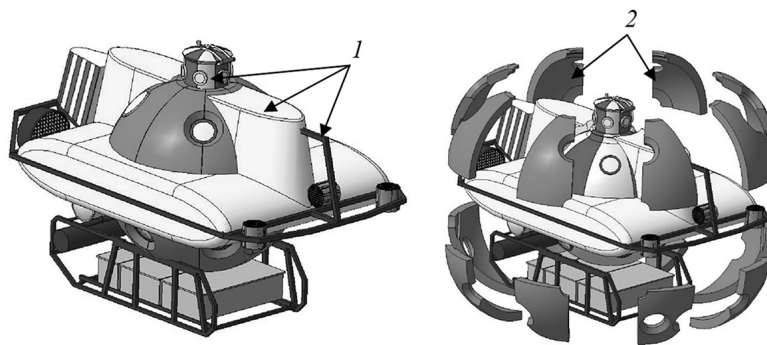


Рис. 1. ПНА «Лангуст»:

1 — міцний, легкий корпус та рама апарату; 2 — теплоізолюючі блоки плавучості зі СДП

Таблиця 1. Початкові теплофізичні характеристики блоку зі СДП

Уявна густина, ρ_0 , кг/м ³	480
Коефіцієнт теплопровідності, λ_0 , Вт/(м·К)	0,085
Коефіцієнт температуропровідності, $a_0 \cdot 10^7$, м ² /с	1,40

$T_{кр} = 10$ °С, при зануренні у воду з температурою 0 °С. Розрахунки виконувались при застосуванні граничних умов четвертого роду для системи двох тіл [11] при товщині теплоізолюючих блоків δ : 0,1; 0,12; 0,15; 0,18; 0,2 м. Результати розрахунків представлені в табл. 3.

Товщина блоку плавучості зі СДП $\delta = 0,15$ м була вибрана з умови зниження температури всередині апарату при аварії до $T_{кр} = +10$ °С (безпечної для людини) не менше ніж за 15 годин.

Сила плавучості, що створюють блоки товщиною $\delta = 0,15$ м міцному корпусу, розраховується за формулою:

$$F_{плав} = (\rho_v - \rho_0) \cdot S_{пов} \cdot \delta \cdot g_i,$$

де $g = 9,81$ м / с² — прискорення вільного падіння; $S_{пов} = 4\pi R^2$ — площа поверхні міцного корпусу апарата, м²; $R = 1,25$ м — зовнішній радіус міцного корпусу ПНА «Лангуст».

Математична модель накопичення пошкоджень в блоках зі СДП при тривалих зануреннях апарату, представлена в [2] і фізична модель пошкоджуваності блоків, що враховує масштабний фактор [4], дозволяють розрахувати середню пошкоджуваність блоків зі

Таблиця 2. Задані технічні вимоги до експлуатації підводного населеного апарату

Робочий тиск при глибині занурення апарату, P , МПа	15–20
Тривалість знаходження апарату на глибині, τ , год	1000
Кількість циклів N занурень-підйомів апарату на поверхню в умовах низьких температур повітря (нижче 0 °С)	1000

СДП товщиною $\delta = 0,15$ м в складі конструкції ПНА «Лангуст»:

$$\bar{\Pi}_d(\tau; P) = \Pi_{\Pi} - (\Pi_{\Pi} - \Pi_0) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2}{\mu_n} \right)^2 \cdot \exp \left[-\mu_n^2 \frac{D}{\delta^2} \tau \right],$$

де P — величина тривалого гідростатичного тиску; $\Pi_{\Pi}(P)$ — верхній максимальний рівень пошкоджуваності СДП, який може бути досягнений за необмежений час; $\Pi_0(P)$ — нижній мінімальний рівень пошкоджуваності СДП, яка виникає в перші моменти навантаження; μ_n — корені функції Бесселя; n — кількість коренів членів ряду; $D = 2,27 \cdot 10^{-3}$ м²/с — коефіцієнт «дифузії» для блоків зі СДП; τ — час гідростатичного навантаження.

Криві накопичення пошкоджень при тривалих зануреннях апарату $\tau = 1000$ год на глибинах від 1500–2000 м ($P = 15–20$ МПа) представлено на рис. 2.

Як встановлено в [3], при кліматичному навантаженні блоків для аналогічних глибин і кількості циклів $N = 1000$ ($\tau_k = 1000$ год), пошкоджуваність приблизно вдвічі більше у порівнянні з тривалими зануреннями.

Таблиця 3. Час досягнення критичної температури $T_{кр} = 10$ °С всередині апарату при різних товщинах теплоізолюючих блоків зі СДП

Товщина блоку зі СДП, δ , м	0,1	0,12	0,15	0,18	0,2
Час охолодження, $\tau_{ох}$, год	8	13	15	17	18

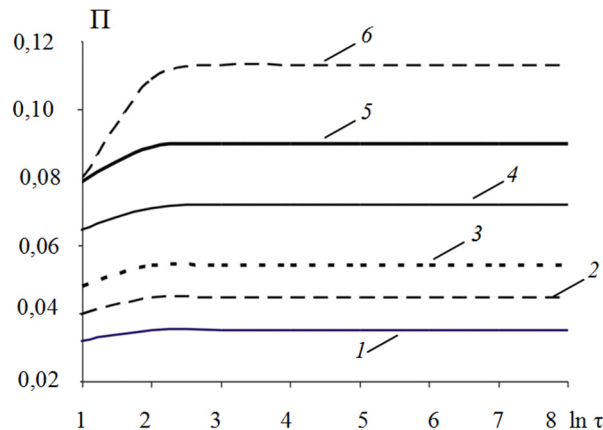


Рис. 2. Пошкоджуваність в блоках плавучості зі СДП при тривалих зануреннях апарату $\tau = 1 – 1000$ год на глибини: 1 — 1500 м; 2 — 1600 м; 3 — 1700 м; 4 — 1800 м; 5 — 1900 м; 6 — 2000 м

Аналіз процесу накопичення пошкоджень показує, що руйнування блоків СДП практично припиняється після 12 год. Результати розрахунків накопичення пошкоджень при тривалих і кліматичних навантаженнях представлено в табл. 4.

Густина блоків зі СДП з урахуванням накопиченої пошкоджуваності $\bar{\rho}_d$ розраховується за формулою:

$$\bar{\rho}(\tau; P) = \rho_0 + \bar{\Pi}_d \cdot \rho_v \cdot K_{стр},$$

де $\rho_v = 1025 \text{ кг/м}^3$ — густина води у Чорному морі; $K_{стр} = 0,65$ коефіцієнт структури СДП. Результати розрахунків зміни густини СДП представлено в табл. 4.

Визначення коефіцієнта теплопровідності блоків зі СДП з урахуванням накопиченої пошкоджуваності $\bar{\Pi}_d$ при тривалих занурення апарату розраховується за формулою [2]:

$$\lambda(\tau; P) = \lambda_0 + a \cdot \bar{\Pi}_d - b \cdot \bar{\Pi}_d^2,$$

де $a = 0,338 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $b = -0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

При кліматичному навантаженні блоків зміна коефіцієнта теплопровідності розраховується за [3]:

$$\lambda(N; P) = a_1 + 2 \cdot b_1 \cdot \bar{\Pi}_d + 2 \cdot c_1 \cdot \bar{\Pi}_d^2,$$

де $a_1 = 0,075 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $b_1 = 0,471 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $c_1 = -0,278 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Зміна густини блоків, що облицьовують міцний корпус приведе до зміни сили плавучості, яку можна визначити за формулою:

$$\bar{F}_{пл} = (\rho_v - \bar{\rho}) S_{пов} \cdot \delta \cdot g,$$

де $\bar{\rho}$ — густина блоків зі СДП, що накопичили пошкодження, кг/м^3 .

Тоді, втрата сили плавучості визначається за формулою:

$$\Delta F = F_{пл} - \bar{F}_{пл}.$$

Результат прогнозування втрати сили плавучості ПНА з блоками СДП при тривалих і циклогідростатичних навантаженнях на глибинах експлуатації 1500–2000 м представлено в табл. 4.

Втрата сили плавучості теплоізолюючих блоків в наслідок пошкоджуваності повинна коригуватися за допомогою баластної та крено-диферентної системи ПНА.

Спрогнозовано зміну температури всередині ПНА без теплоізолюючих блоків, результат представлено у вигляді кривої 1 (рис. 3).

При використанні блоків СДП у вигляді суцільної шкарлупи, що накопили пошкодження під час тривалих занурень апарату, процес охолодження має вигляд кривої 2, а з урахуванням кліматичних навантажень — кривої 3 (рис. 3).

Аналіз кривих показує, що процес накопичення пошкоджень в блоках зі СДП на глибинах 1500–2000 м має місце та впливає на теплозахисні властивості. В порівнянні з не облицьованим міцним корпусом, використання блоків зі СДП у вигляді суцільної шкарлупи забезпечує тепловий захист жилого відсіку ПНА, що доводить доцільність їх використання.

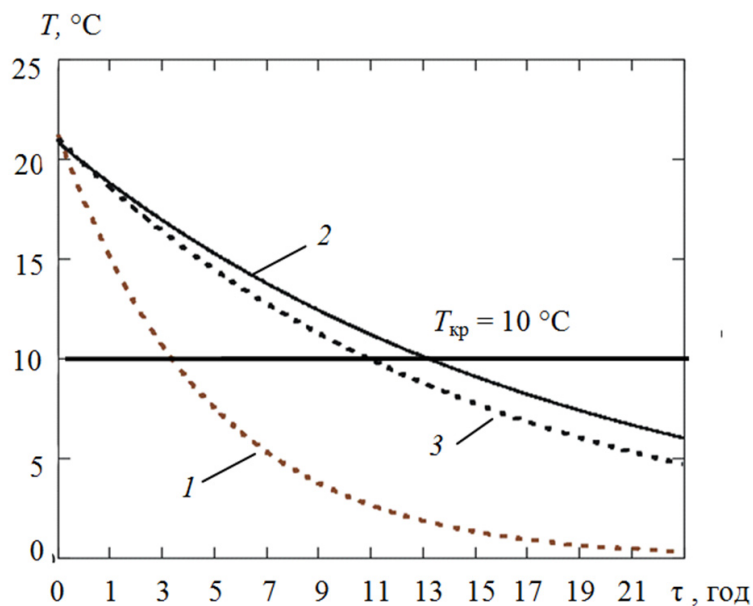


Рис. 3. Зміна температури всередині апарату:

1 — без теплоізолюючих блоків; 2 — блоки, що накопили пошкодження при тривалому зануренні; 3 — блоки, що накопили пошкодження при кліматичному навантаженні

Таблиця 4. Результати прогнозування зміни плавучих і теплоізоляційних властивостей блоків зі СДП товщиною $\delta = 0,15$ м

Робочий тиск, P , МПа	Пошкоджуваність, Π^*	Густина теплоізоляційних блоків*, ρ , кг/м ³	Втрата сили плавучості теплоізоляційних блоків, $\Delta F_{пл}$, кН	Коефіцієнт теплопровідності*, λ , Вт/(м·К)
15	0,035/0,07	0,50/0,52	1,4/1,7	0,1/0,112
16	0,045/0,09	0,51/0,54	1,5/2,3	0,101/0,118
17	0,054/0,11	0,515/0,55	1,6/2,6	0,104/0,132
18	0,072/0,14	0,52/0,56	1,7/2,9	0,112/0,135
19	0,09/0,18	0,54/0,61	2,3/4,4	0,118/0,14
20	0,113/0,23	0,55/0,62	2,7/4,6	0,132/0,15

*Довготривалі навантаження / кліматичні навантаження.

ВИСНОВКИ. Удосконалення конструкції ПНА і внесення змін до **архитектурно-конструктивного типу апарату** при використанні частини основних елементів плавучості для зовнішнього суцільного облицювання міцного корпусу блоками зі СДП, дозволяє, окрім збільшення сили підтримання, зберігати тепло всередині апарату під час тривалих занурень на глибини 1500–2000 м та при аварійних ситуаціях

в разі знеструмлення на борту, що підвищує рівень безпеки екіпажу.

Розроблений алгоритм розрахунку втрати сили підтримання блоків плавучості в складі конструкції міцного корпусу ПНА, дозволяє на стадії проектування надати рекомендації, щодо корегування баластної та крено-диферентної системи ПНА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Блинцов, В. С.** Сучасні завдання створення підводних апаратів робіт для пошукових та спеціальних операцій [Текст] / В. С. Блинцов, О. В. Красних // Підводна техніка і технологія (ПТТ-2011) : Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. — Миколаїв : НУК, 2011. — С. 155–158.
- [2] **Бурдун, Е. Т.** Моделирование повреждаемости и изменения теплопроводности блоков плавучести на основе синтактика в условиях эксплуатации [Текст] / Е. Т. Бурдун, Т. А. Юреско, В. Ю. Кочанов // 36. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2008. — № 3 (420). — С. 46–51.
- [3] **Бурдун, Е. Т.** Моделирование повреждаемости и изменения теплопроводности блоков плавучести на основе синтактика при климатических испытаниях [Текст] / Е. Т. Бурдун, Т. А. Юреско, В. Ю. Кочанов // 36. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2008. — № 5. — С. 55–60.
- [4] **Бурдун, Е. Т.** Применение теории диффузии для прогнозирования водопоглощения конструкций дополнительной плавучести на основе сферо пластика [Текст] / Е. Т. Бурдун, В. Ю. Кочанов, Т. А. Юреско // 36. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2010. — № 2 (431). — С. 61–67.
- [5] **Бурдун, Е. Т.** Результати дослідження властивостей блоків плавучості з піноскла для підводних апаратів [Текст] / Е. Т. Бурдун, Н. С. Соломонюк // 36. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2010. — № 3. — С. 32–38.
- [6] **Войтов, Д. В.** Подводные обитаемые аппараты [Текст] / Д. В. Войтов. — М. : АСТ, Астрель, 2002. — 189 с.
- [7] **Дмитриев, А. Н.** Проектирование подводных аппаратов [Текст] / А. Н. Дмитриев // — Л. : Судостроение, 1994. — 324 с.
- [8] **Казмиренко, Ю. А.** Перспективы применения в судостроении композиционного материала многоотраслевого назначения — синтактического пеностекла [Текст] / Ю. А. Казмиренко // 36. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв : УДМТУ, 2001. — № 2 (374). — С. 132–139.
- [9] **Копийка, С. В.** Экспериментальное исследование повреждаемости сферопластиков [Текст] / С. В. Копийка, А. В. Жижко // 36. наук. праць НУК. — Миколаїв, 2006. — № 3 (408). — С. 48–56.
- [10] **Нарусбаев, А. А.** Катастрофы в морских глубинах [Текст] / А. А. Нарусбаев. — Л. : Судостроение, 1989. — С. 67.
- [11] **Юреско, Т. А.** Сферопластик как тепловая изоляция обитаемых подводных технических средств [Текст] / Т. А. Юреско // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Серия : морская техника и технология. — Астрахань : АГТУ, 2014. — № 2. — С. 21–26.

© Т. А. Юреско

Надійшла до редколегії 15.08.2016

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. Л. І. Коростильов