

УДК 629.58

DOI [https://doi.org/10.15589/znpp2023.2-3\(491-492\).13](https://doi.org/10.15589/znpp2023.2-3(491-492).13)

DEVELOPMENT OF A LABORATORY BENCH FOR FILLING BARO-LOADED HOUSINGS OF PROPELLERS ELECTRIC MOTORS OF UNDERWATER EXECUTION

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ЗАПОВНЕННЯ БАРОРОЗВАНТАЖЕНИХ КОРПУСІВ ГРЕБНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПІДВОДНОГО ВИКОНАННЯ

Andrii M. Voitasyk

andrii.voitasyk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9409-6108

Andriy S. Sirivchuk

sirivchuka@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2927-2600

Oleksandr P. Klochkov

oleksandr.klochkov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6426-3374

А. М. Войтасик,

канд. тех. наук, доцент

А. С. Сірівчук,

канд. тех. наук, доцент

О. П. Клочков,

канд. тех. наук, доцент

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв*

Abstract. *Purpose.* Development and design of a laboratory bench for filling baro-loaded housings of propellers electric motors of underwater execution with the possibility of ensuring the required quality and extent of filling the housing and compensator of the product with a degassed liquid dielectric. *Method.* As part of the research, the complex modeling method was used to build 3D models of the frame of the laboratory bench and all executive equipment proposed to be used in it, the method of empirical description of technological processes to justify and explain the features of the bench organization, the method of conducting an experiment to certify the functional capabilities of the bench. *Results.* Based on the use of a vacuum pump, a manifold with a manovacuum meter, ball valves, a container for a dielectric, and the proposed implementation scheme of a closed housing for the circulation of liquid passing through polypropylene channels, a laboratory bench was developed for its further use during the preparation and maintenance of propellers electric motors of underwater execution with for the purpose of their baro unloading. The products are connected to the bench using quick-detachable high-pressure hoses, which are characterized by sufficient flexibility and the necessary throughput. *Scientific novelty.* Provision of technological processes of liquid dielectric degassing and filling with it the internal space of propellers electric motors of underwater execution for the purpose of their baro-relief is proposed to be implemented using a laboratory bench equipped on the basis of a table with a vertical wall. The bench includes a set of necessary equipment interconnected in accordance with the proposed algorithm for ensuring technological processes, which allows its effective implementation in the tasks of preparation and maintenance of propellers electric motors of underwater execution. The speed of fluid circulation in a closed circuit and maintenance of the required vacuum value in the system is guaranteed by the use of an electric vacuum pump and a collector with a manovacuum meter. *Practical importance.* The developed laboratory bench is designed in the form of a modular structure using a machine-made aluminum profile and is intended to ensure two technological processes necessary for the realization of baro-relieved housings – degassing of the liquid dielectric and filling the housing with it without additional complex manipulations. The use of a laboratory bench can facilitate and speed up the process of preparation and maintenance of propellers electric motors of underwater execution, which can later be installed on marine mobile objects implemented in the form of self-propelled tethered or autonomous underwater vehicles.

Key words: housing; compensator; dielectric; vacuum pump.

Анотація. *Мета.* Розробка та проектування лабораторного стенду для заповнення баророзвантажених корпусів гребних електродвигунів підводного виконання з можливістю забезпечення необхідної якості і міри заповнення корпусу та компенсатору виробу дегазованим рідким діелектриком. *Методика.* В рамках дослідження використано метод комплексного моделювання для побудови 3D моделей каркасу лабораторного

стенду та всього виконавчого обладнання, яке запропоновано застосувати у його складі, метод емпіричного опису технологічних процесів для обґрунтування та пояснення особливостей організації стенду, метод проведення експерименту для засвідчення функціональних можливостей стенду. *Результати.* На базі використання вакуумного насоса, колектора з мановакууметром, кулькових кранів, ємності для діелектрика та запропонованої схеми реалізації замкненого корпусу для циркуляції рідини, що проходить поліпропіленовими каналами, розроблено лабораторний стенд для подальшого його використання під час виконання процесів підготовки та обслуговування гребних електродвигунів підводного виконання з метою їх баророзвантаження. Підключення виробів до стенду виконується за допомогою швидкоз'ємних шлангів високого тиску, яким властива достатня гнучкість та необхідна пропускна здатність. *Наукова новизна.* Забезпечення технологічних процесів дегазації рідкого діелектрика та заповнення ним внутрішнього простору гребних електродвигунів підводного виконання з метою їх баророзвантаження, запропоновано реалізовувати з застосуванням лабораторного стенду облаштованого на базі столу з вертикальною стінкою. До складу стенду входить комплект необхідного обладнання поєднаного між собою відповідно до запропонованого алгоритму забезпечення технологічних процесів, що дозволяє його ефективне впровадження в задачах підготовки та обслуговування гребних електродвигунів підводного виконання. Швидкість циркуляції рідини замкненим контуром та підтримання необхідного значення вакууму в системі гарантується застосуванням електричного вакуумного насоса та колектора з мановакууметром.

Практична значимість. Розроблений лабораторний стенд спроектований у вигляді модульної конструкції з застосуванням верстатного алюмінієвого профілю і призначений для забезпечення двох технологічних процесів необхідних при реалізації баророзвантажених корпусів – дегазації рідкого діелектрика та заповнення ним корпусу без додаткових складних маніпуляцій. Застосування лабораторного стенду здатне полегшити та пришвидшити процес підготовки та обслуговування гребних електродвигунів підводного виконання, які у подальшому можуть бути встановлені на морських рухомих об'єктах реалізованих у вигляді саморухомих прив'язних, або автономних підводних апаратів.

Ключові слова: корпус; компенсатор; діелектрик; вакуумний насос.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Використання саморухомих прив'язних підводних апаратів (СППА) у складі прив'язних підводних систем (ППС) передбачає вхід до її складу баророзвантажених корпусів (БК). Конструктивно БК складається з жорсткої частини (корпусу) та гнучкої частини (компенсатора), які поєднуються між собою і заповнюються рідким діелектриком. Завдяки чому забезпечується баланс зовнішнього та внутрішнього тисків і значно збільшується глибина, на якій такі конструкції можна використовувати без ризику для їх пошкодження. Зазвичай, в таких корпусах розміщують складові, які можуть працювати в умовах надмірного гідростатичного тиску. Як наприклад, гребні електродвигуни підводного виконання, що знайшли своє широке застосування в основі електрорушійних пристроїв (ЕРП) СППА. Для ефективної роботи необхідно забезпечити максимальне заповнення їх корпусів та компенсаторів рідким діелектриком (мінеральним маслом, гасом та ін.) та виключити наявність повітряних накопичень, які можуть призвести до потрапляння морської води в середину електрорушійного пристрою. Цим визнається якість створення БК.

Тому, набуває актуальності задача розробки та проектування лабораторного стенду для заповнення БК гребних електродвигунів (ГЕД) підводного виконання з можливістю забезпечення необхідної якості і міри заповнення корпусу та компенсатору виробу дегазованим рідким діелектриком.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Небезпекою для ГЕД підводного виконання є проникнення морської води всередину корпусу, особливо в яких конструкція передбачає безпосередній вихід валу до рушія, що обертається в агресивному середовищі в умовах підвищеного тиску [1]. Використання БК дає змогу проектувати ГЕД, розраховані на майже необмежені глибини [2, 3]. Це досягається за рахунок заповнення внутрішніх порожнин ГЕД рідким діелектриком та встановлення компенсатора для вирівнювання внутрішнього тиску із зовнішнім [4, 5].

Наявність певних об'ємів газу в корпусі ГЕД підводного виконання значно зменшує надійність БК, тому що робочий об'єм гумового компенсатора обмежений і на певних глибинах при повному його стисненні навантаження прикладатиметься на ущільнення валопроводу з можливістю проникнення морської води [6, 7]. Тому, заповнення ГЕД підводного виконання рідким діелектриком останній етап його збирання. Існує потреба у забезпеченні майже повної відсутності газів, в тому числі розчинених, всередині корпусу [8].

Загалом, відомо три способи заповнення рідким діелектриком БК [9]. Найбільш відомий з них представляє собою проточне заповнення [10, 11]. Загалом, цей спосіб є досить надійним, але до недоліків можна віднести неможливість цілком видалити залишки повітря та необхідність виконання контролю за наповненістю ємності. Другий спосіб заснований на

принципах посудин, які сполучаються між собою [12, 13]. Такий спосіб має суттєву перевагу перед першим, оскільки він потребує участі людини тільки для виконання маніпуляцій з БК. Найменшу кількість залишкового повітря пропонується забезпечувати завдяки третьому способу, основаному на вакуумзації БК [14]. До недоліку такого способу слід віднести складність забезпечення абсолютного вакууму [15]. Крім того, зазвичай, конструктивні елементи БК містять рухомі частини, сполучені з зовнішнім середовищем відповідними гумовими ущільненнями [16]. В ГЕД підводного виконання такі гумові ущільнення можуть витримувати тиск до 0,5 атмосфер, тим самим унеможливаючи створення більш глибокого вакууму всередині корпусу. Зі збільшенням глибини занурення СППА збільшується і тиск, що діє на БК. Для визначення рівня глибини занурення використовуються сенсори тиску [17, 18]. Можливості їх застосування на СППА достатньо розвинені [19, 20].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Широке поширення на СППА отримали системи, що розміщуються за межами міцного корпусу і заповнюються діелектричною рідиною, через яку до всіх елементів апарата передається зовнішній гідростатичний тиск, що змінюється з глибиною занурення. Такі системи отримали назву заглибних (ЗС). Залежно від функцій робочої рідини розрізняють два типи ЗС: пасивні та активні. У пасивних ЗС робоча рідина виступає лише засобом передачі зовнішньої потенціальної енергії гідростатичного поля до елементів ЗС. В активних ЗС робоча рідина передає елементам як потенціальну енергію гідростатичного поля, так і активну енергію насосного агрегату.

В ЗС, встановлюють компенсатори, які створюють на поверхні надлишковий тиск не менше 0,05 МПа [8]. Вони дозволяють забезпечити контроль герметичності ЗС при роботі на палубі судна, а також більш надійну роботу ущільнювачів вузлів на початку занурення. Ефективність компенсаторів оцінюють за робочим об'ємом, ступенем використання об'єму рідини, коефіцієнтом маси конструкції, ступенем чутливості роздільника до змін глибини, надлишкового тиску в ЗС в залежності від ходу роздільника. Кількість рідини, що витіснена роздільником при крайніх конструктивних положеннях, являє собою робочий об'єм компенсатора, який призначений для заповнення зменшеного об'єму рідинної системи. Способи заповнення рідким діелектриком БК досить відомі та детально описані [9, 14]. У той же час, як спеціалізованих лабораторних стендів для реалізації технологічних процесів дегазації рідкого діелектрика та заповнення ним внутрішнього простору ГЕД підводного виконання з метою їх баророзвантаження наразі не існує. Запропоновано реалізовувати такий

лабораторного стенд облаштувавши його на базі столу з вертикальною стінкою.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є розробка та проектування лабораторного стенду для заповнення баророзвантажених корпусів гребних електродвигунів підводного виконання з можливістю забезпечення необхідної якості і міри заповнення корпусу та компенсатору виробу дегазованим рідким діелектриком.

ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості *об'єкта дослідження* обрано технологічні процеси дегазації та заповнення рідким діелектриком, які необхідно реалізувати в рамках підготовки та обслуговування гребних електродвигунів підводного виконання з метою їх баророзвантаження.

Предметом дослідження є моделі та методи аналізу для запровадження необхідної якості і міри заповнення корпусу та компенсатору гребного електродвигуна підводного виконання дегазованим рідким діелектриком для його баророзвантаження, реалізація замкненої схеми циркуляції рідини, що проходить поліпропіленовими каналами, та забезпечення сумісності застосованого обладнання, створення 3D моделей складових елементів обладнання та загальної конструкції лабораторного стенду.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

До складу запропонованого лабораторного стенду, входять: вакуумний насос; шланги високого тиску; колектор з мановакууметром; ГЕД у якості дослідного БК; ємності для діелектрика; кулькові крани; поліпропіленові труби; штуцери; світлодіодний світильник.

Вакуумний насос використовується для створення розрідження в системі при заповненні внутрішньої порожнини підводного гребного електродвигуна рідким діелектриком. Функціонально його призначення полягає у здійсненні сервісних робіт з системами кондиціонування та охолодження. Складається з електродвигуна і картриджа ротаційного типу, заповненого машинним маслом.

Вакуумні насоси належать до категорії лопатевих насосів зі змазкою рідкого типу, яка здійснюється шляхом вприскування. Відрізняються одно- та двоступеневою конструкцією. Основні технічні характеристики вакуумного насоса представлені у вигляді табл. 1.

Шланг високого тиску це спеціально сформована гумова трубка, що протистоїть більшості руйнуванню при використанні нейтральних рідин і гарантує тривалий термін служби. Наявність клапану зі штифтом дозволяє протидіяти розриву.

Колектор з мановакууметром фірми є по суті одно ventильним кульковим краном зі шкалою. Він здатний реалізувати швидко та точно регулювання потоку

Таблиця 1. Технічні характеристики вакуумного насоса VALUE VE-115N

№ з/п	Найменування параметра		Значення
1	Продуктивність, л/хв	При частоті 50 Гц	51
		При частоті 60 Гц	57
2	Глибина вакууму	Відносний тиск, Па	2
		Ступінь вакууму, мікрон	150
3	Потужність, Вт		186,5
4	Присднувальна різьба, дюймів <i>Flare</i>		1/4"
5	Об'єм масла, мл		310
6	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм		285×124×230
7	Маса, кг		6,3

Таблиця 2. Основні технічні характеристики ГЕД підводного виконання

№ з/п	Найменування параметра	Значення
1	Матеріал корпусу	алюміній
2	Напруга змінного живлення, В	220
3	Частота мережі, Гц	50
4	Момент, Н·м	0,9
5	Струм, А	1,27
6	Ковзання	0,1
7	Повна потужність, Вт	182,3
8	Корисна потужність, Вт	109,1
9	Коефіцієнт корисної дії, %	59,8
10	Габаритні розміри, мм	204×92
11	Маса з діелектриком (керосин), кг	1,7

середовища за рахунок використання принципу кульового крану та проводити вимірювання вакууму до 1 атмосфери.

Ємності, що входять до складу лабораторного стенду виконують роль базової ємності та ємності зливу для рідкого діелектрика. Їх об'єм на попередньому етапі створення стенду становить 100 мл.

Призначення кульових кранів у складі лабораторного стенду полягає в регулюванні тиску, а також переміщення діелектрика та повітря у його межах.

Для виконання герметизації ємностей для діелектрика та під'єднання пропіленових труб задіяно штуцера з різьбою М6. Герметизація здійснюється гумовим кільцем у торцевому ущільненні штуцера та кришки ємності.

У якості БК розглядається серійний зразок ГЕД підводного виконання. Його основні технічні характеристики представлені у вигляді табл. 2.

З метою вдалого створення БК і витіснення максимальної кількості кисню, було спроектовано 3D модель стенду, який призначений для використання як штатної одиниці науково-дослідної лабораторії підводної техніки. 3D модель стенду була реалізована на базі лабораторного столу спроектованого з застосуванням верстатного алюмінієвого профілю (рис. 1).

Лабораторний стіл створений за принципом модульності. Його рамна конструкція (2, рис. 1) забезпечує міцність та надійність монтажу, виконаними

гвинтовими з'єднаннями, без використання зварювальних пристроїв.

Для вирівнювання положення столу на похилій поверхні передбачено застосування чотирьох регульованих по висоті ніжок (1, рис. 1). Електричне живлення стенду однофазне і становить 220 В змінної напруги з частотою мережі 50 Гц. Живлення надходить до блоку енергетики (3, рис. 1), де виконується штатне підключення вакуумного насоса.

В якості матеріалу для робочої поверхні (4, рис. 1) та інструментальних полиць (9, рис. 1) використовується ламінована дошка ДСП товщиною 25 мм. На робочій поверхні стола передбачено технологічний отвір для установки ГЕД підводного виконання (5, рис. 1).

Задня стінка стола (6, рис. 1) виконується у вигляді надбудови, яка виготовляється з перфорованого алюмінієвого листа. У верхній частині задньої стінки розміщується стрічковий світлодіодний світильник (7, рис. 1), який віднесено від задньої стінки з метою максимального освітлення робочої поверхні стола. Утримання світильника забезпечується застосуванням в рамній конструкції столу двох ребер міцності (8, рис. 1). Лабораторний стенд пропонується реалізовувати на базі представленого лабораторного столу з вертикальною стінкою (рис. 1), на якій розташовуються чотири кулькові крани (3, рис. 2) та колектор з мановакууметром (5, рис. 2). На основній площі столу розміщується вакуумний насос (8, рис. 2),

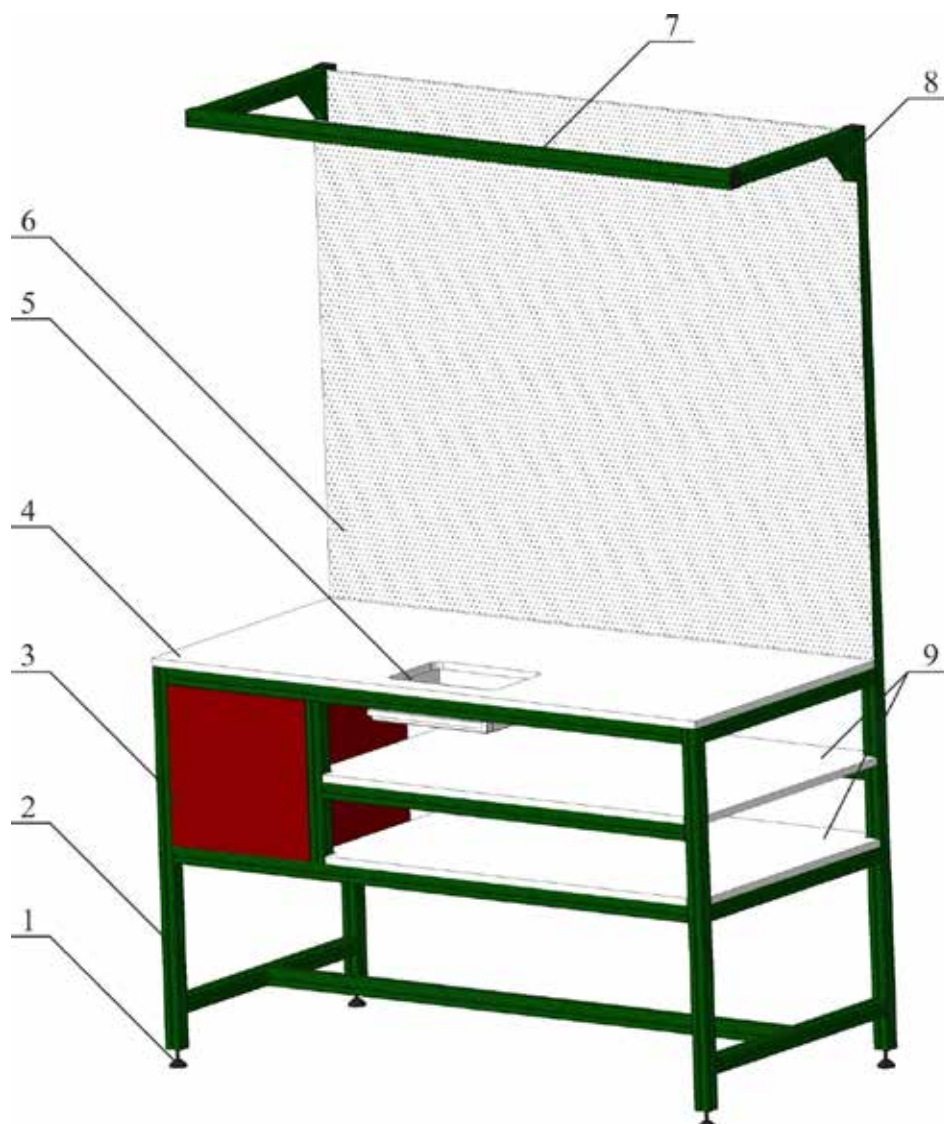


Рис. 1. 3D модель лабораторного столу

1) – ніжка; 2) – рама; 3) – блок енергетики; 4) – робоча поверхня; 5) – місце установки ГЕД; 6) – задня стінка; 7) – місце установки світильника; 8) – ребро міцності; 9) – інструментальні полиці

ємності з діелектриком (2, рис. 2) та безпосередньо ГЕД підводного виконання (4, рис. 2), який після заповнення матиме БК. Під час роботи лабораторного стенду заповнення діелектриком виконується по магістралям реалізованим з застосуванням поліпропіленових труб (7, рис. 2) та гнучких шлангів високого тиску (1, 6, рис. 2).

Основні технічні характеристики розробки представлені у табл. 3.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розробка лабораторного стенду для заповнення баророзвантажених корпусів гребних

електродвигунів підводного виконання рідким діелектриком, яка передбачає дегазацію діелектрика та заповнення корпусу без додаткових складних маніпуляцій реалізована відповідно з удосконаленою схемою заповнення [14]. Для цього, варто використовувати запропонований алгоритм дій, який включає:

1) Підготовку: зливну ємність спустошити; ємність з діелектриком наповнити; всі крани перевести в закриті положення.

2) Дегазацію: відкрити кран «зв'язок», «злив» та «вакуум»; увімкнути вакуумний насос та створити розрідження в системі; закрити кран «вакуум»

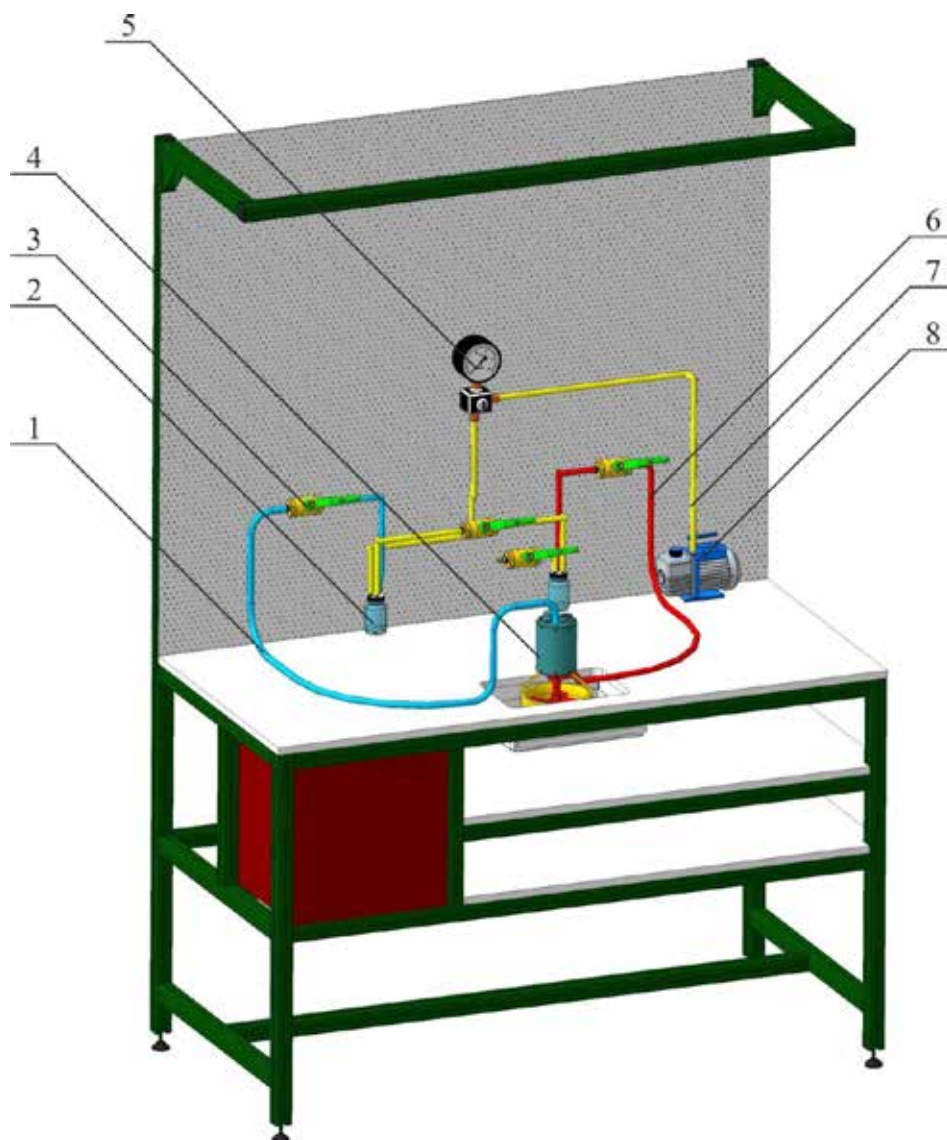


Рис. 2. 3D модель лабораторного стенду для заповнення БК ГЕД підводного виконання

1) – вхідний гнучкий шланг високого тиску; 2) – ємність для рідини; 3) – кран; 4) – електродвигун; 5) – колектор з мановакууметром; 6) – вихідний гнучкий шланг високого тиску; 7) – вакуумний контур; 8) – вакуумний насос

та вимкнути вакуумний насос; очікувати проміжок часу – 2 хв.

3) Заповнення: закрити кран «зв'язок» та відкрити кран «діелектрик»; відкрити кран «повітря», щоб в корпус повільно надходив діелектрик; слідкувати за рівнем діелектрика у відповідній ємності та за зливним отвором. У випадку зменшення рівня діелектрика до мінімально допустимої позначки перейти до пункту 1. Якщо зі зливного отвору припинився вихід газу, то перейти до пункту 4.

4) Герметизацію БК: закрити крани «злив» та «діелектрик»; від'єднати заливний шланг та закрити

заливний отвір; від'єднати зливний шланг та закрити зливний отвір.

Основними виконавчими елементами лабораторного стенду є вакуумний насос та колектор з мановакууметром, які дозволяють створювати та відслідковувати необхідний рівень вакуумації. Вакуумний насос підключається до змінної напруги 220 В, 50 Гц. Керування роботою пристрою схематично передбачено на його корпусі. Для освітлення робочої поверхні стенду задіяно світлодіодний світильник з такими ж енергетичними параметрами підключення.

Таблиця 3. Основні технічні характеристики розробки

№ з/п	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	220
2	Частота мережі, Гц	50
3	Вакуумний насос	VALUE VE-115N – 1 шт.
4	Колектор з мановакууметром	CH-467BV-250 – 1 шт.
5	Шланг високого тиску	жовтий, червоний – 2 шт.
6	Кульковий кран	Brass-59 – 4 шт.
7	Поліпропіленові труби	Ø6x1 мм – 5 м
8	Ємність для діелектрика	100 мл – 2 шт.
9	Штуцер	M6 – 8 шт.
10	Світлодіодний світильник	EV-LS-18 – 1 шт.
11	Сумарна споживча потужність стенду, Вт	200
12	Габаритні розміри стенду, мм	1500×750×2185
13	Маса стенду у змонтованому стані, кг	154

ВИСНОВКИ

1. Розроблений лабораторний стенд спроектований у вигляді модульної конструкції з застосуванням верстатного алюмінієвого профілю і призначений для забезпечення двох технологічних процесів необхідних при реалізації баророзвантажених корпусів – дегазації рідкого діелектрика та заповнення ним корпусу без додаткових складних маніпуляцій.

2. Застосування лабораторного стенду здатне полегшити та пришвидшити процес підготовки та обслуговування гребних електродвигунів підводного виконання, які у подальшому можуть бути встановлені на морських рухомих об'єктах реалізованих у вигляді саморухомих прив'язних, або автономних підводних апаратах.

REFERENCES

- [1] Blintsov O.V., Burunina Zh. Yu., Voitasik A.M. Refining the classification of underwater missions performed using underwater complexes with flexible connections. Shipbuilding and Marine Infrastructure, 2018. № 1(9). P. 36-43.
- [2] Cao, X., Zhang, C., Deng, B., Xie, Q., and Rong, Y. (2011) Research on Pressure-compensated Dynamic Property of Deep-sea Oil Reservoir Systems, Ocean Technologies, 30, 83-87.
- [3] Hu, H., Long, L., Shen, X., and Zhang, W. (2018) Research on pressure compensator used for deep-sea hydraulic system, Ocean Engineering. Equipment. Technologies, 5, 209-213.
- [4] Yongqiang Tian, Rudolph Persaud, Shuo Liu, Tongqi Liu, Jingchang Long, Chenguang Xu, Ke Sun, Jianxing Leng (2019) Research on Dynamic Characteristics of Deep Sea Pressure Compensator. OCEANS 2019, DOI: 10.1109/OCEANSE.2019.8867449
- [5] Songyu Li, Xinguang Du, Luyao Zhang, Ken Chen, Shuai Wang (2020) Study on dynamic characteristics of underwater pressure compensator considering nonlinearity.
- [6] Jia-Bin Wu, Li Li, Wei Wei (2021) Research on dynamic characteristics of pressure compensator for deep-sea hydraulic system. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Engineering for the Maritime Environment, 236(2):147509022110332. DOI: 10.1177/14750902211033265
- [7] Liu, H., Hu, Z., Ma, L., Tang, G., Hu, X., and Han, J. (2016) Research on a rolling diaphragm pressure compensator used for deep-sea manned submersibles. Journal Harbin Engineering University, 37, 1313-1317. DOI: 10.11990/jheu.201504043.
- [8] Blintsov O.V., Klochkov O.P. Osoblyvosti vyboru kompensatoriv zovnishn'ogo tysku dlja pidvodnyh elektrodvyguniv v barorozvantazhenykh korpusakh. Problemy avtomatyky ta elektroobladnannya transportnykh zasobiv: Materialy Vseukrai'ns'koi' naukovo-tehnichnoi' konferencii' z mizhnarodnoju uchastju. –Mykolai'v: NUK, 2013. S. 135-137.
- [9] Blintsov O.V., Klochkov O.P. Osoblyvosti zapovnennja barorozvantazhenykh korpusiv pidvodnyh aparativ ridkym dielektrykom. Pidvodna tehnika i tehnologija: Materialy Vseukrai'ns'koi' naukovo-tehnichnoi' konferencii' z mizhnarodnoju uchastju. – Mykolai'v: NUK, 2011. S. 68-72.
- [10] He, J., Meng, Q. X., and Zhao, J. (2007) The design of hydraulic pressure system for underwater interfacing manipulator, Hydraulic. Pneumatic, 1, 22-24.
- [11] Gu, L., Luo, G., Zhou, F., Wang, F., and Chen, Y. (2013) Development and Future of Deep-sea Underwater Hydraulic Technique. Hydraulic. Pneumatic, 12, 1-7.
- [12] Zhang, Y., Luo, G.S., Wang, F., and Lin-Yi, G.U. (2007) Deep-sea pressure adaptive compensation technique for underwater robots, Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 24, 10-12.
- [13] Yang, C., Wang, Y., and Yao, F. (2017) Driving performance of underwater long-arm hydraulic manipulator system for small autonomous underwater vehicle and its positioning accuracy, International Journal of Advanced Robotic Systems, 14. DOI: 10.1177/1729881417747104.
- [14] Blintsov O.V., Klochkov O.P. Udoskonalennja systemy zapovnennja barorozvantazhenykh pidvodnyh korpusiv ridkym

dielektrykom. Innovacii v sudnobuduvanni ta okeanotehnici: Materialy IV mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii. – Mykolai v: NUK, 2013. S. 435-436.

- [15] Wang, Q., Li, Y., Zhong, T., and Xu, G. (2005) Pressure compensation method of underwater hydraulic system with hydraulic power unit being under atmospheric circumstance and pressure compensated valve, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 18, 419. DOI:10.3901/cjme.2005.03.419.
- [16] Wang, F. and Chen, Y. (2014) Design and experimental study of oil-based pressure-compensated underwater hydraulic system, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I*, 228, 221-232. DOI:10.1177/0959651813514219, 2014a
- [17] Kim Gue (2023) Underwater pressure transducers. Sino-Inst. URL: <https://www.drurylandetheatre.com/underwater-pressure-transducer-ip68/>
- [18] Honeywell (2023) Pressure Sensors and Transducers. URL: https://www.tme.eu/en/katalog/pressure-transducers_112581/p,honeywell_208/
- [19] Yaul F.M., Bulovic V., Lang, J.H. (2012) A Flexible Underwater Pressure Sensor Array Using a Conductive Elastomer Strain Gauge. *Journal of microelectromechanical systems*, 21 (6), 897-907
- [20] Carly Thompson (2023) Pressure Sensors and Their Use in Aquatic and Underwater Applications. Merit Sensors. URL: <https://meritsensor.com/pressure-sensors-and-their-use-in-aquatic-and-underwater-applications/>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Blintsov O.V., Burunina Zh. Yu., Voityasyk A.M. Refining the classification of underwater missions performed using underwater complexes with flexible connections. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*, 2018. № 1(9). P. 36-43.
- [2] Cao, X., Zhang, C., Deng, B., Xie, Q., and Rong, Y. (2011) Research on Pressure-compensated Dynamic Property of Deep-sea Oil Reservoir Systems, *Ocean Technologies*, 30, 83-87.
- [3] Hu, H., Long, L., Shen, X., and Zhang, W. (2018) Research on pressure compensator used for deep-sea hydraulic system, *Ocean Engineering. Equipment. Technologies*, 5, 209-213.
- [4] Yongqiang Tian, Rudolph Persaud, Shuo Liu, Tongqi Liu, Jingchang Long, Chenguang Xu, Ke Sun, Jianxing Leng (2019) Research on Dynamic Characteristics of Deep Sea Pressure Compensator. *OCEANS 2019*, DOI: 10.1109/OCEANSE.2019.8867449
- [5] Songyu Li, Xinguang Du, Luyao Zhang, Ken Chen, Shuai Wang (2020) Study on dynamic characteristics of underwater pressure compensator considering nonlinearity.
- [6] Jia-Bin Wu, Li Li, Wei Wei (2021) Research on dynamic characteristics of pressure compensator for deep-sea hydraulic system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 236(2):147509022110332. DOI: 10.1177/14750902211033265
- [7] Liu, H., Hu, Z., Ma, L., Tang, G., Hu, X., and Han, J. (2016) Research on a rolling diaphragm pressure compensator used for deep-sea manned submersibles. *Journal Harbin Engineering University*, 37, 1313-1317. DOI: 10.11990/jheu.201504043.
- [8] Блінцов О.В., Клочков О.П. Особливості вибору компенсаторів зовнішнього тиску для підводних електродвигунів в баророзвантажених корпусах. *Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю.* – Миколаїв: НУК, 2013. С. 135-137.
- [9] Блінцов О.В., Клочков О.П. Особливості заповнення баророзвантажених корпусів підводних апаратів рідким діелектриком. *Підводна техніка і технологія: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю.* – Миколаїв: НУК, 2011. С. 68-72.
- [10] He, J., Meng, Q. X., and Zhao, J. (2007) The design of hydraulic pressure system for underwater interfacing manipulator, *Hydraulic. Pneumatic*, 1, 22-24.
- [11] Gu, L., Luo, G., Zhou, F., Wang, F., and Chen, Y. (2013) Development and Future of Deep-sea Underwater Hydraulic Technique. *Hydraulic. Pneumatic*, 12, 1-7.
- [12] Zhang, Y., Luo, G.S., Wang, F., and Lin-Yi, G.U. (2007) Deep-sea pressure adaptive compensation technique for underwater robots, *Mechanical & Electrical Engineering Magazine*, 24, 10-12.
- [13] Yang, C., Wang, Y., and Yao, F. (2017) Driving performance of underwater long-arm hydraulic manipulator system for small autonomous underwater vehicle and its positioning accuracy, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14. DOI: 10.1177/1729881417747104.
- [14] Блінцов О.В., Клочков О.П. Удосконалення системи заповнення баророзвантажених підводних корпусів рідким діелектриком. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції.* – Миколаїв: НУК, 2013. С. 435-436.
- [15] Wang, Q., Li, Y., Zhong, T., and Xu, G. (2005) Pressure compensation method of underwater hydraulic system with hydraulic power unit being under atmospheric circumstance and pressure compensated valve, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 18, 419. DOI:10.3901/cjme.2005.03.419.
- [16] Wang, F. and Chen, Y. (2014) Design and experimental study of oil-based pressure-compensated underwater hydraulic system, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I*, 228, 221-232. DOI:10.1177/0959651813514219, 2014a
- [17] Kim Gue (2023) Underwater pressure transducers. Sino-Inst. URL: <https://www.drurylandetheatre.com/underwater-pressure-transducer-ip68/>

- [18] Honeywell (2023) Pressure Sensors and Transducers. URL: https://www.tme.eu/en/katalog/pressure-transducers_112581/p,honeywell_208/
- [19] Yaul F.M., Bulovic V., Lang, J.H. (2012) A Flexible Underwater Pressure Sensor Array Using a Conductive Elastomer Strain Gauge. *Journal of microelectromechanical systems*, 21 (6), 897-907
- [20] Carly Thompson (2023) Pressure Sensors and Their Use in Aquatic and Underwater Applications. Merit Sensors. URL: <https://meritsensor.com/pressure-sensors-and-their-use-in-aquatic-and-underwater-applications/>

© Войтасик А. М., Сірівчук А. С., Клочков О. П.
Дата надходження статті до редакції: 08.06.2023
Дата затвердження статті до друку: 23.06.2023