

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів

« Допущений до захисту »

Завідувач кафедри ЕІС та РК

к.т.н., доцент  Д. В. Костенко

“ 12 ” 06 20 26 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти « бакалавр »

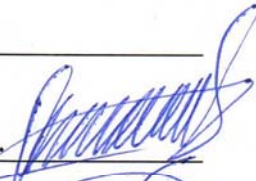
на тему: Підхід до розробки стенда для підводно-технічної лабораторії

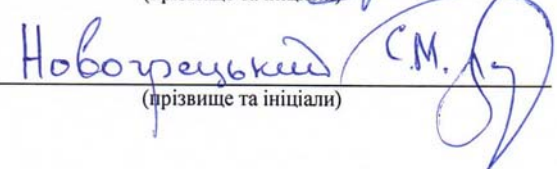
Виконав: студент 4 курсу, групи 4307зст3

Спеціальність:

141 « Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка »

 Оргей В. Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник  Ключков О. П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент  Новозурецький С.М.
(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв
2026 рік

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

Кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 14 Електрична інженерія

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

Я. Б. Волянська

“ 22 ”

04

2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр

Студенту Оргею Віктору Євгеновичу

1. Тема роботи: Підхід до розробки стенда для підводно-технічної лабораторії

Керівник роботи: канд. техн. наук, доцент кафедри ЕІС та РК Клочков О. П.

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22.07» 20 26 року № 286 г.

2. Термін подання студентом роботи: 10 червня 2026 року

3. Вхідні дані до роботи: технічні характеристики підводно-технічної лабораторії, технічні характеристики обладнання стенда, технічні характеристики двигуна підводного виконання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1 Призначення та область застосування стенда підводно-технічної лабораторії

2 Технічні характеристики стенда підводно-технічної лабораторії

3 Опис та обґрунтування прийнятих рішень при розробці стенда для підводно-технічної лабораторії

4 Розрахунки, які підтверджують працездатність лабораторного стенда для підводно-технічної лабораторії

5. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів (з точним зазначенням назв):

1. Титульний слайд 2. Мета і задачі роботи 3. Зовнішній вигляд стенда

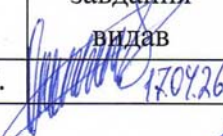
4. Компоненти лабораторного стенда 5. Схема з'єднання елементів

лабораторного стенда 6. Технічні характеристики основного обладнання стенда

7. Технічні характеристики електродвигуна як об'єкта стенда 8. Розрахунки

потужності двигунів маршових та вертикального рушіїв 9. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	канд. техн. наук, доцент кафедри ЕІС та РК Клочков О.П.	 17.04.26	 13.05.26

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Призначення та область застосування	22.04.2026	век.
2	Технічні характеристики	27.05.2026	век.
3	Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень	20.05.2026	век.
4	Розрахунки, що підтверджують працездатність	03.06.2026	век.
5	Охорона праці	13.05.2026	век.
6	Оформлення пояснювальної записки та супровідних документів	10.06.2026	век.

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Оргей В. Є.

(прізвище та ініціали)

Клочков О. П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Запропоновано підхід до розробки лабораторного стенда, який призначено для створення вакуумного ефекту в міцних корпусах електродвигунів підводного виконання при заповненні рідким діелектриком.

Представлено концепцію лабораторного стенда для створення баророзвантажених корпусів, у якості яких, за звичай, застосовуються електрорушійні пристрої прив'язних підводних апаратів.

Надано опис складових стенда та пояснено їх призначення в процесі заповнення міцних корпусів рідким діелектриком. Виконано розробку тривимірної моделі конструкції лабораторного стенда.

Розглянуто трифазний електричний асинхронний двигун підводного виконання як об'єкт, на який спрямовано функціонування лабораторного стенда при створенні з двигуна баророзвантаженого корпусу.

Ключові слова: лабораторний стенд, міцний корпус, баророзвантажений корпус, асинхронний двигун, гребний електродвигун.

ABSTRACT

An approach to the development of a laboratory stand is proposed, which is designed to create a vacuum effect in the strong housings of underwater electric motors when filled with a liquid dielectric.

The concept of a laboratory stand is presented for creating pressure-relieved housings, as which, as a rule, electric propulsion devices of tethered underwater vehicles are used.

A description of the components of the stand is provided and their purpose in the process of filling strong housings with a liquid dielectric is explained. A three-dimensional model of the laboratory stand design is developed.

A three-phase electric asynchronous motor of underwater execution is considered as an object to which the functioning of the laboratory stand is directed when creating a pressure-relieved housing from the motor.

Keywords: laboratory stand, robust housing, pressure-relieved housing, asynchronous motor, electric rowing motor.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1 Призначення та область застосування стенда підводно-технічної лабораторії.....	8
1.1 Призначення лабораторного стенду для підводно-технічної лабораторії.....	8
1.2 Область застосування лабораторного стенду для підводно-технічної лабораторії.....	13
1.3 Огляд двигуна підводного виконання як основи електрорушійного пристрою.....	17
1.4 Двигун підводного виконання як базовий елемент електрорушійної системи підводного апарата.....	18
2 Технічні характеристики стенда підводно-технічної лабораторії.....	21
2.1 Технічні характеристики основних складових стенда підводно-технічної лабораторії.....	21
2.2 Технічні характеристики двигуна підводного виконання у складі лабораторного стенда.....	22
2.3 Технічні характеристики електрорушійного пристрою самохідного прив'язного підводного апарата.....	23
3 Опис та обґрунтування прийнятих рішень при розробці стенда для підводно-технічної лабораторії.....	24
3.1 Опис елементів, що входять до складу лабораторного стенда для підводно-технічної лабораторії.....	24
3.2 Детальний опис тривимірної моделі лабораторного стенда.....	30
3.3 Правила заповнення двигунів підводного виконання рідким діелектриком	32
4 Розрахунки, які підтверджують працездатність лабораторного стенда для підводно-технічної лабораторії.....	34

	5
4.1 Розрахунок кабель-троса самохідного прив'язного підводного апарата.....	34
4.2 Розрахунок вертикального рушія самохідного прив'язного підводного апарата.....	36
4.3 Розрахунок маршових рушіїв самохідного прив'язного підводного апарата.....	38
5 Охорона праці.....	40
5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при зборці та монтажі лабораторного стенду.....	41
5.2 Заходи з техніки безпеки при удосконаленні лабораторного стенду.....	44
Висновки.....	47
Перелік посилань.....	48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АД	– асинхронний двигун
БК	– баророзвантажений корпус
ГГ	– гребний гвинт
ГЕД	– гребний електродвигун
ЗС	– заглибна система
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КПО	– коефіцієнт природного освітлення
КТ	– кабель-трос
ПА	– підводний апарат
ПАР	– підводний апарат робот

ВСТУП

Використання підводних апаратів-роботів у складі підводних систем передбачає експлуатацію баророзвантажених корпусів. Він конструктивно складається з жорсткої частини (корпус) та гнучкої частини (компенсатор) і заповнюється рідким діелектриком. Цим забезпечується баланс зовнішнього та внутрішнього тисків та збільшується глибина, на якій такі конструкції використовуються без ризику для їх пошкодження. В таких корпусах розміщують складові, які можуть працювати в умовах надмірного гідростатичного тиску – електродвигуни. Для нормальної роботи необхідно забезпечити максимальне заповнення рідким діелектриком та виключити наявність повітряних накопичень, які можуть призвести до потрапляння морської води в середину електрорушійного пристрою. Цим визначається якість створення баророзвантаженого корпусу.

Мета кваліфікаційної роботи – удосконалення лабораторного стенду для заповнення баророзвантажених корпусів.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв’язати такі задачі:

- виконати огляд способів заповнення рідким діелектриком міцних корпусів та зробити опис конструкції серійного зразка гребного електродвигуна з наведенням його технічних характеристик;
- виконати розрахунки технічних параметрів асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором як дослідного об’єкта для побудови лабораторного стенда;
- виконати розрахунки та побудову пускових та робочих характеристик гребного електродвигуна;
- надати тривимірну модель конструкції удосконаленого лабораторного стенда;
- навести основні технічні характеристики обладнання лабораторного стенда.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СТЕНДА ПІДВОДНО-ТЕХНІЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

1.1 Призначення лабораторного стенду для підводно-технічної лабораторії

Широке поширення на самохідних прив'язних підводних апаратах (СППА) отримали системи, які розміщуються за межами міцного корпусу і заповнюються діелектричною рідиною, через яку до всіх елементів СППА передається зовнішній гідростатичний тиск, що змінюється з глибиною занурення. Такі системи отримали назву заглибних. Вони складають на сучасних СППА основу рушійно-маневрових і маніпуляторних комплексів, енергетичних систем і допоміжних пристроїв, найчастіше тільки завдяки їм можна забезпечити функціонування СППА на великих глибинах. Використання заглибних систем (ЗС) дозволяє значно зменшити масу і габарити СППА.

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. Тиск в останніх по відношенню до зовнішнього середовища знаходиться в межах до 0,2 МПа, а робоча рідина знаходиться в стані спокою (ЗС керування, електропривод, акумуляторні батареї і ін.). В активних ЗС робоча рідина передає елементам як потенційну енергію гідростатичного поля, так і активну енергію насосного агрегату. Крім статичного перепаду тиску (0,1-0,3 МПа), в активних ЗС створюється робочий перепад тиску, значення якого визначається подоланням навантаження. Робоча рідина в них знаходиться в русі і пускає в хід виконавчі механізми. Активні ЗС представлені на СППА в основному зануреними гідроприводами різного типу. Пасивні і активні ЗС, хоча і виконують на СППА різні функції, виявляються однотипними за рядом ознак. До їх складу входить компенсуюча підсистема, яка служить засобом передачі зовнішнього

гідростатичного тиску (робочі рідини, компенсатори, ущільнюючі вузли). При відсутності динамічного перепаду тиску (виключення насоса і зняття навантаження) активна ЗС стає, по суті, пасивною. Внаслідок цього обидві системи можна розглядати спільно як комплекс заглибних систем СППА.

Комплекс заглибних систем СППА – це сукупність його систем, які функціонують в середовищі діелектричної рідини при високому гідростатичному тиску, змінному з глибиною занурення.

Працездатність систем СППА під водою може бути забезпечена двома способами. Перший передбачає їх розміщення в міцних корпусах, що в кінцевому рахунку призводить до значного збільшення маси апарату і одночасному зменшенню надійності його роботи. Другий спосіб передбачає використання для цієї мети компенсуючих підсистем. Його застосовують частіше, так як він дозволяє забезпечити мінімальні габарити і масу СППА при найбільшій надійності. Компенсуюча підсистема – це допоміжний комплекс ізольованих від морської води пристроїв, який заповнений діелектричною рідиною і в якому за допомогою спеціальних компенсаторів підтримується тиск, практично рівний зовнішньому тиску морської води або близький до нього. Оболонка і корпус ізолюючої заглибної системи, зазвичай називають розвантаженими від дії перепаду гідростатичного тиску. Розвантаженими є також і елементи гідравлічного приводу, наприклад корпусу гідродвигунів, насосів і т. п. Електричні комутаційні магістралі між окремими ЗС, прокладені в трубопроводах, а також джерела електроенергії правильніше називати маслозаповненими. Маслозаповнені електричні роз'єми, ізольовані від зовнішнього середовища і один від одного і призначені для з'єднання заглибних пристроїв, слід називати ізолюючими, а подібні роз'єми без внутрішньої герметизації прохідними.

Пристрої, за допомогою яких енергія гідростатичного поля передається до робочої рідини і які заповнюють її об'єми деформації, є компенсаторами гідростатичного тиску. Компенсатори бувають автономні, що вбудовуються, а

також у вигляді гнучких оболонок або інших пружних обмежуючих вузлів, що виконують одночасно роль компенсаторів. Автономний компенсатор є окремий об'єм з розділовою мембраною або поршнем, що сполучається трубопроводом з ЗС. Вбудований компенсатор, зазвичай у вигляді гнучких мембран, встановлюють на зовнішніх конструкціях ЗС. У ряді випадків вся ЗС може бути укладена в еластичну компенсуючу оболонку, що дає додатковий вииграш в масі СППА. Роздільником компенсатора служить рухливий елемент, що обмежує його внутрішній об'єм.

Конструктивне виконання елементів заглибного гідроприводу, при якому його агрегати додатково розміщуються в ізолюючі об'єми з діелектричною рідиною, називаються закритим, а конструктивне виконання, при якому зовнішні поверхні елементів гідроприводу контактують з морською водою, відкритим.

Активна ЗС, в якій одночасно використовуються два типи робочих рідин, наприклад масло і ртуть, є комбінованою. Це корпуси, міцність яких розрахована на тиск при граничній глибині занурення СППА.

Елементи ЗС в залежності від характеру впливу гідростатичного тиску поділяють на дві групи. До першої групи належить ряд механічних і електричних пристроїв, на характеристики яких практично не впливає високий гідростатичний тиск. До них, зокрема, відносяться потенціометричні датчики, датчики частоти обертання і витрати рідини, мембранні компенсатори, маслозаповненні комутаційні лінії. До другої групи відноситься ряд електричних механізмів (реле, контактор і ін.). У яких збільшується час спрацьовування, або (у заглибних електродвигунів) зменшується коефіцієнт корисної дії (ККД), або (у датчиків тиску) збільшується постійна часу. Змінюються також динамічні і статичні характеристики елементів гідроприводу.

Рідини, що є робочим тілом активних і пасивних ЗС, є наповнювачами. У ЗС можуть бути використані всілякі типи робочої рідини. В останні роки в якості наповнювачів в ЗС найчастіше використовують органічні масла, що мають ряд переваг в порівнянні з неорганічними. Перспективні гідравлічні елементи

активних ЗС, що працюють на морській воді, однак їх поширення на СППА істотно залежить від розробки матеріалів, здатних надійно працювати на морській воді. Активні ЗС можна класифікувати і залежно від кількості видів рідин, що використовуються одночасно. Так, розрізняють гідравлічні приводи, що використовують одну робочу рідину, комбіновані гідравлічні приводи, що використовують одночасно рідини двох видів. До першого виду належать гідроприводи рушіїв, маніпуляторів, допоміжних пристроїв, що використовують масло, а також гідравлічні приводи, що працюють на морській воді. Другий вид гідроприводів зустрічається в зрівняльних системах населених СППА. Велика частина елементів таких гідроприводів працює на маслі, а робочою рідиною інших є ртуть або морська вода. Залежно від виду джерела енергії гідроприводи СППА ділять на ті, що мають автономне джерело енергії і ті, що використовують перетворювач потенційної енергії зовнішнього гідростатичного тиску.

На СППА зазвичай застосовують гідравлічні приводи першого типу. Їх насос приводиться в дію електродвигуном. У той же час для приводу насоса може бути використана енергія гідростатичного тиску. В цьому випадку для забезпечення необхідного перепаду тиску необхідна наявність міцного корпусу значного об'єму, в якому початковий внутрішній тиск дорівнює атмосферному і в якому накопичується морська вода, що пройшла через насос.

На робочі рідини – наповнювачі ЗС діє ряд специфічних чинників морського середовища: високий гідростатичний тиск; обводнення морською водою; електромагнітні поля, а також гази, що виділяються з акумуляторів, постійна низька зовнішня температура. Такі дії призводять до зміни основних властивостей робочих рідин: збільшуються в'язкість і щільність, зменшується об'єм, погіршуються діелектричні властивості. Одночасно збільшується модуль пружності рідини, що покращує динамічні властивості гідроприводу. При експлуатації електромеханічних ЗС навіть в наземних умовах в'язке середовище діелектрика зменшує швидкість руху їх елементів. Зміна властивостей робочої рідини в підводних умовах під впливом наведених вище факторів призводить до

подальшого погіршення характеристик електромеханізмів. При відомих умовах значно погіршується ізоляція електричних систем. Збільшення в'язкості рідини в гідроприводі значно впливає на витратні характеристики його окремих елементів, сприяє зменшенню витоків і збільшенню сили тертя.

Розглянемо основні властивості робочих рідин ЗС. Щільність робочої рідини визначає опір магістралей при перехідних процесах гідроприводу і впливає на значення гідравлічного удару, який може виникати при різкій зміні швидкості руху рідини. Зміна щільності великих об'ємів робочої рідини, наприклад в зрівняльних системах СППА, може привести на великих глибинах до появи негативної плавучості СППА. Щільність і відповідно питомий об'єм рідини залежать в основному від двох параметрів: температури і гідростатичного тиску на заданій глибині.

Ступінь зміни об'єму робочих рідин ЗС залежить від наведеного модуля пружності, наявності у системі об'ємів, не заповнених рідиною, температури і глибини занурення СППА. Компенсують зміни об'єму рідини і одночасно вирівнюють внутрішній і зовнішній тиск компенсатори гідростатичного тиску. Конструктивно компенсатор є об'єм, поділений або оболонкою, або плаваючим поршнем. Для створення найбільш надійних ЗС, що мають надлишковий відносний тиск до 0,05-0,2 МПа, встановлюють поршневі або мембранні підпружиненні компенсатори. У ряді пасивних ЗС, що не мають рухомих вихідних елементів, досить тиску, рівного забортному, тому в них використовують також мембранні компенсатори.

У ЗС, встановлюють компенсатори, які створюють на поверхні надлишковий тиск не менше 0,05 МПа. Вони дозволяють забезпечити контроль герметичності ЗС при роботі на палубі судна, а також більш надійну роботу ущільнювачів вузлів на початку занурення. Досвід експлуатації ЗС показує, що забезпечення їх герметичності на глибинах до 10-15 м є в ряді випадків більш складним завданням, ніж на великих глибинах. Пояснюється це тим, що при досить малих

значеннях тиску не виявляються в достатній мірі пружні властивості еластомірних матеріалів, з яких виготовлені компенсатори.

Ефективність компенсаторів оцінюють за робочим об'ємом, ступенем використання об'єму рідини, коефіцієнтом маси конструкції, ступенем чутливості роздільника до змінення 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. Досконалість конструкції компенсатора визначає коефіцієнт корисного використання його об'єму.

1.2 Область застосування лабораторного стенду для підводно-технічної лабораторії

Баророзвантажені корпуси (БК) є основними елементами конструкції підводних апаратів. Конструктивно БК складається з жорсткої частини (власне корпусу) та гнучкої частини (мембрани компенсатора) і заповнюється рідким діелектриком. Завдяки цьому забезпечується вирівнювання зовнішнього і внутрішнього тисків і значно збільшується глибина, на якій такі конструкції можна використовувати без ризику для їх пошкодження. Зазвичай, в БК розміщують складові, які можуть працювати в умовах надмірного гідростатичного тиску – електродвигуни. Для нормальної роботи необхідно забезпечити максимальне заповнення БК рідким діелектриком (мінеральним маслом, гасом та ін.) та виключити наявність повітряних накопичень, які можуть призвести до розриву мембрани [2, 5, 6].

Розглянемо способи здійснення такої операції. Найбільш відомий з них представляє собою проточне заповнення (рис. 1.1).

Установка складається з наступних елементів: штатив 1, ємність з діелектриком 2, дозатор 3, затискач 4, баророзвантажений корпус 5, зливна ємність 6, заливний штуцер 7, зливний штуцер 8 та з'єднувальні трубки 9.

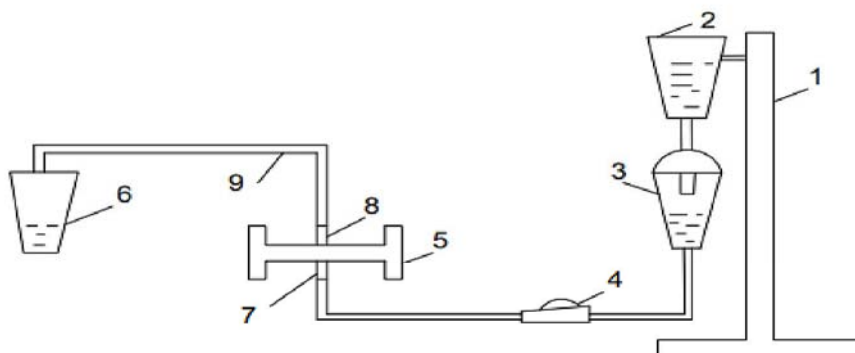


Рисунок 1.1 – Схема установки для проточного заповнення баророзвантаженого корпусу діелектриком

Склавши установку, переконуються, що трубка до заливного штуцера повністю заповнена рідким діелектриком та відкривають затискач і діелектрик починає заповняти корпус герметичної конструкції, витісняючи повітря. Коли зі зливного штуцера припиниться вихід пухирців повітря, з корпусом двигуна виконують маніпуляції, наприклад, зміну його просторового положення, поворот валопроводу, натискання компенсаторів або всі ці маніпуляції одночасно, які проводяться з певною періодичністю до повного припинення виходу залишків повітря та після чого виконується герметизація корпусу.

Загалом, цей спосіб є досить надійним, але до недоліків можна віднести неможливість цілком видалити залишки повітря та необхідність виконання контролю за наповненістю ємності.

Наступний спосіб заснований на принципах посудин, що сполучаються (рис. 1.2).

Для цього необхідно мати два штативи 1, ємності 2 та 3, затискачі 4, баророзвантажений корпус 5, штуцери 6, з'єднувальні трубки 7. Ємність 2 в початковий момент заповнена діелектриком, друга ємність 3 в початковий момент

порожня. Після відкриття затискачів 4 від заповненої ємності, рідкий діелектрик перетікає в порожню ємність, заповнюючи при цьому БК. Після того як порожня ємність заповниться, рівні рідини в обох ємностях стануть однакові, з герметичною конструкцією виконують ті ж маніпуляції, що і при варіанті з проточним заповненням. Це виконують для того, щоб вивільнити повітря, що залишилося всередині корпусу та в його конструктивних елементах. Такий спосіб має суттєву перевагу перед першим, оскільки він потребує участі людини тільки для виконання маніпуляцій з БК.

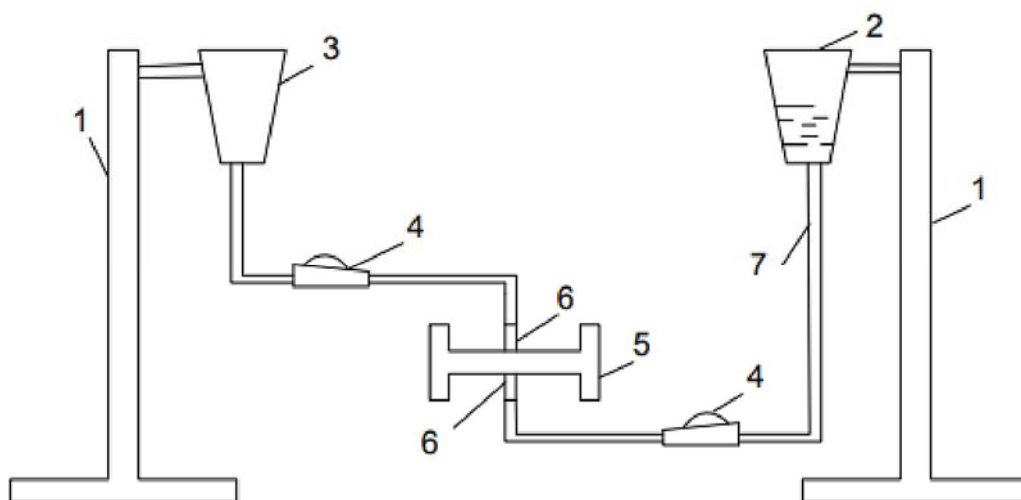


Рисунок 1.2 – Схема заповнення герметичної конструкції за допомогою посудин, що сполучаються

Найменшу кількість залишкового повітря пропонується забезпечувати способом вакумації БК. Такий підхід в ідеальному випадку видаляє повітря цілком, навіть важкодоступних конструктивних порожнин. Схема його реалізації (рис. 1.3) містить штатив 1, ємність з діелектриком 2, дозатор 3, затискачі 4 та 10, баророзвантажений корпус 5, дренажна ємність 6, штуцери 7 та 8, з'єднувальні трубки 9, вакуумний насос 11.

Для виконання даного варіанту заповнення спочатку необхідно закрити затискач 4. Далі створюється вакуум в системі «БК – дренажна ємність» за допомогою насоса. Після цього відкривають затискач 4 для можливості

поступового заповнення створеного вакууму діелектриком під атмосферним тиском, що контролюється спостереженням за швидкістю протікання рідини через дозатор та відсутністю повітряних пухирців на виході затискача 4. В ідеальному випадку такий спосіб забезпечить повну відсутність повітряних порожнин в конструкції БК.

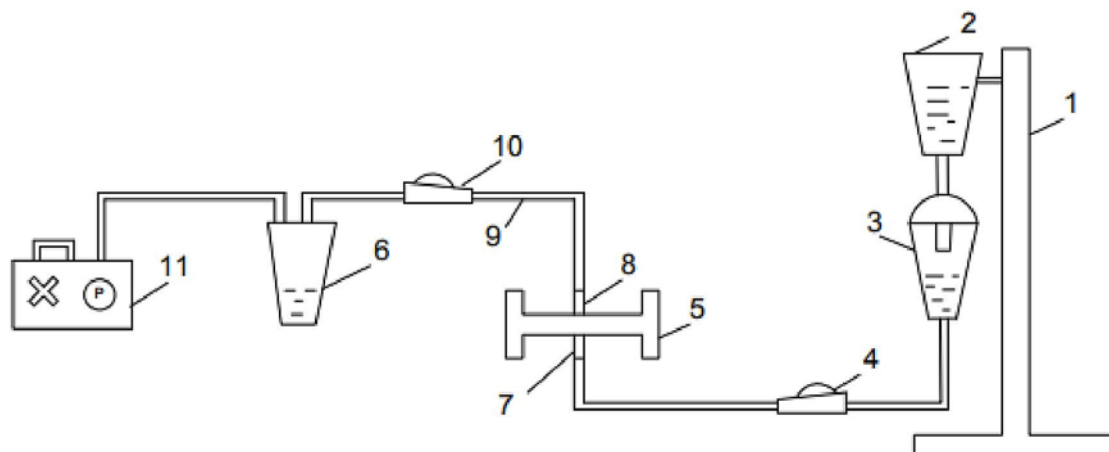


Рисунок 1.3 – Схема заповнення рідким діелектриком електродвигуна за допомогою вакуумного насосу

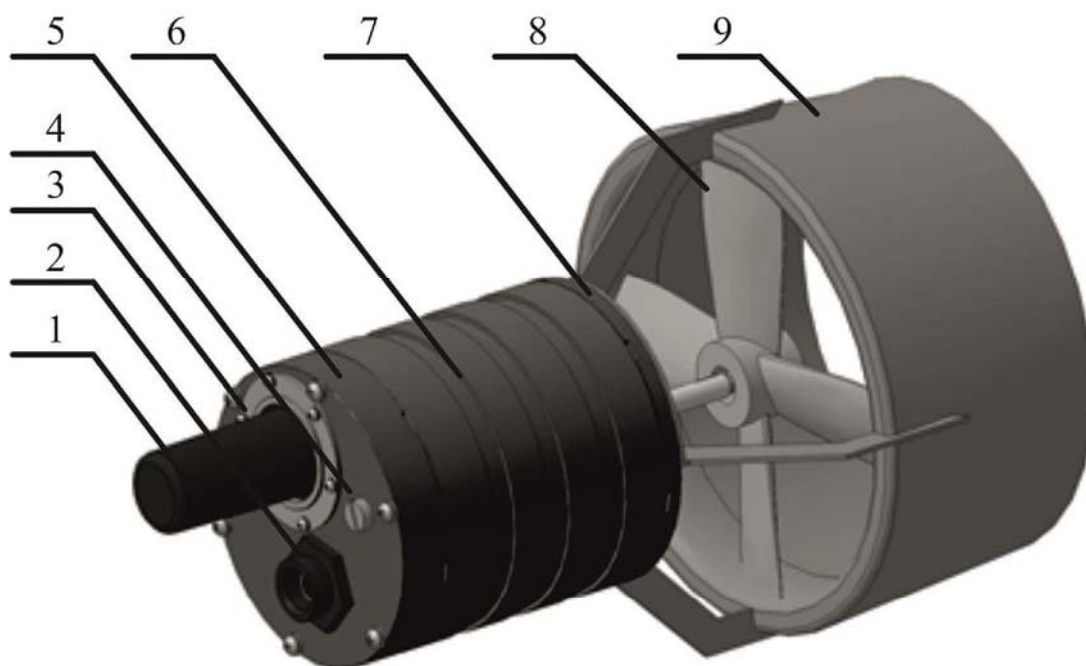
До недоліку такого способу слід віднести складність забезпечення абсолютного вакууму. Крім того, зазвичай, конструктивні елементи БК містять рухомі частини, сполучені з зовнішнім середовищем відповідними гумовими ущільненнями. В підводних електроприводах такі гумові ущільнення можуть витримувати тиск до 0,5 атм, тим самим унеможливаючи створення більш глибокого вакууму всередині корпусу. Але проблема полягає не тільки в тому, що дані вироби не можуть витримувати тиск, більший певного значення. Справа в тім, що пробій гумового ущільнення необхідно очікувати у місці обертання валу електродвигуна, який в першу чергу буде пов'язаний не з самим ущільненням, як виробом, а з тим, що при механічній обробці валу могла бути допущена похибка, яка вимірюється долями міліметра. В результаті цього цей дефект неможливо побачити візуально, але мікроканал, який є присутнім на валу, дає можливість проникнення повітря всередину БК внаслідок неможливості створення

достатнього ущільнення, як властивості, в місці дотикання гумового ущільнення та валу, тим паче в умовах обертання останнього.

1.3 Огляд двигуна підводного виконання як основи електрорушійного пристрою

Рушійно-рульовий комплекс СППА, до складу якого входить електрорушійний пристрій, служить для пересування і маневрування апарата на поверхні і під водою.

Всі електрорушійні пристрої у складі СППА розробляють зазвичай однотипними і базують на трифазному асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором, а у якості рушія використовується гребний гвинт у насадці (рис. 1.4).



- 1 – гумовий компенсатор; 2 – панельна частина гермороз'єму заборотної комутації;
 3 – фіксатор компенсатора; 4 – заправочна пробка; 5 – задня кришка; 6 – кожух;
 7 – передня кришка; 8 – гвинт; 9 – гвинтова насадка разом з кріпленням

Рисунок 1.4 – Тривимірна модель електрорушійного пристрою

Рушійно-рульовий комплекс СППА здатен забезпечити:

- орієнтацію апарата під водою для утримання заданого йому положення;
- компенсацію збурюючих моментів, обумовлених зовнішнім середовищем;
- корекцію траєкторії руху;
- кутові і лінійні переміщення при роботі на об'єкті.

Зазвичай рушійно-рульовий комплекс споживає найбільшу кількість електроенергії серед електроспоживачів СППА.

Технічні характеристики електрорушійного пристрою як об'єкта у складі стенду мають наступні значення (див. розд. 2, підрозд. 2.3).

1.4 Двигун підводного виконання як базовий елемент електрорушійної системи підводного апарата

У складі СППА рушійно-рульовий комплекс (РРК) може зустрічатися у різному конструктивному виконанні і в залежності від цього визначається область його застосування [1, 3, 7]. В загальному випадку можливо розглянути 4 варіанти організації РРК:

- ~ два маршові рушія у поєднанні з одним вертикальним (рис. 1.5);



Рисунок 1.5 – Конфігурація рушійно-рульового комплексу у поєднанні двох маршових рушіїв з одним вертикальним

- ~ один маршовий рушій, один вертикальний та два рушія для забезпечення лагового руху (рис. 1.6);



Рисунок 1.6 – Конфігурація рушійно-рульового комплексу у поєднанні одного маршового та одного вертикального рушіїв з двома лаговими рушіями

~ два маршових рушія, один вертикальний та один лаговий рушій (рис. 1.7);



Рисунок 1.7 – Конфігурація рушійно-рульового комплексу у поєднанні двох маршових рушіїв з одним вертикальним та одним лаговим рушіями

~ чотири векторних рушія у горизонтальній площині та один вертикальний рушій (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Конфігурація рушійно-рульового комплексу у поєднанні чотирьох векторних рушіїв у горизонтальній площині з одним вертикальним рушієм

Таким чином, в залежності від типу ПТР, що виконується за певною підводною технологією, обирається СППА з РРК, який забезпечує найбільш зручну реалізацію переміщення апарата у водному просторі або визначена конфігурація РРК закладається на етапі проектування СППА.

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНДА ПІДВОДНО-ТЕХНІЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

2.1 Технічні характеристики основних складових стенда підводно-технічної лабораторії

Технічні характеристики вакуумного насоса зведені до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики вакуумного насоса

№ з/п	Параметр		Значення
1	Продуктивність	50 Гц	51 л/хв
		60 Гц	57 л/хв
2	Глибина вакууму	Відносний тиск	2 Па
		Ступінь вакууму	150 мікрон
3	Потужність		186,5 Вт
4	Приєднувальна різьба		1/4 "Flare
5	Об'єм масла		310 мл
6	Габаритні розміри, ДхШхВ		285x124x230 мм
7	Вага		6,3 кг

Технічні характеристики шлангу високого тиску представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики шлангу високого тиску

№ з/п	Параметр	Значення
1	Діапазон робочих температур	Від -28,8°C до 82,2°C
2	Величина тиску розриву	172 атм
3	Робочий тиск	34 атм
4	Діапазон довжин шлангів	Від 152 мм до 30 м
5	Мінімальний радіус згину	152 мм

Технічні характеристики крану «Brass 59» зведені до табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики кулькового крану

№ з/п	Параметр	Значення
1	Матеріал корпусу	Латунь
2	Матеріал ручки «Метелик»	Алюміній
3	Номінальний тиск	1-32 МПа
4	Маса	104 гр.
5	Різьба для приєднання	1/2"

2.2 Технічні характеристики двигуна підводного виконання у складі лабораторного стенда

Технічні характеристики електродвигуна підводного виконання представлені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики електродвигуна

№ з/п	Параметр	Значення
1	Тип двигуна	Асинхронний з короткозамкненим ротором
2	Кількість фаз	3
3	Параметри живлення	220 В, 50 Гц, 1,1 А
4	Корисна потужність	180 Вт
5	Зовнішній діаметр	128 мм
6	Довжина корпусу	143 мм
7	Внутрішній об'єм	0,5 л
8	Об'єм компенсатора	16,3 мм ³

2.3 Технічні характеристики електрорушійного пристрою самохідного прив'язного підводного апарата

Технічні характеристики електрорушійного пристрою, що входить до складу самохідного прив'язного підводного апарата, представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики електрорушійного пристрою самохідного прив'язного підводного апарата

№ з/п	Параметр	Значення
1	Електроживлення	220 В, 50 Гц змінного струму
2	Момент / Швидкість обертання	1,25 Н·м / 1350 об/хв
3	Струм / Ковзання	1,1 А / 0,1
4	Повна / Корисна потужність	263 Вт / 176 Вт
5	ККД	0,67
6	Маса	8 кг

Таким чином наведені технічні характеристики складових, що входять до лабораторного стенду для створення баророзвантажених корпусів.

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ ПРИ РОЗРОБЦІ СТЕНДА ДЛЯ ПІДВОДНО-ТЕХНІЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

3.1 Опис елементів, що входять до складу лабораторного стенда для підводно-технічної лабораторії

До складу стенда, який пропонується використовувати для заповнення баророзвантажених корпусів рідким діелектриком, входять:

- вакуумний насос марки «VALUE VE-115N» – 1 од.
- шланг високого тиску – 2 од.
- колектор з мановакуометром «CH-467BV-250» – 1 од.
- двигун як баророзвантажений корпус – 1 од.
- ємність для діелектрика – 2 од.
- кран «Brass 59» – 4 од.
- трубка ПВХ – 5 м
- штуцер – 8 од.

Розглянемо послідовно ці складові.

Вакуумний насос використовується для створення розрідження в системі при заповненні внутрішньої порожнини підводного гребного електродвигуна рідким діелектриком.

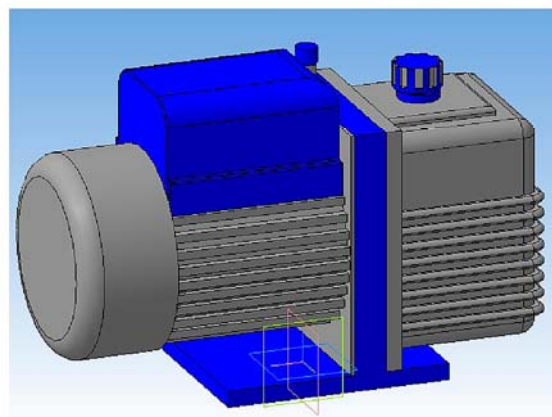
Модель вакуумного насоса, який використовується у складі стенду – VE-115N VALUE. Функціонально його призначення полягає у здійсненні сервісних робіт з системами кондиціонування та охолодження. Складається з надійного електродвигуна і картриджа ротаційного типу, заповненого машинним маслом.

Вакуумні насоси фірми «VALUE» належать до категорії лопатевих насосів зі змазкою рідкого типу, яка здійснюється шляхом вприскування. Відрізняються одно- та двоступеневою конструкцією.

Зовнішній вигляд вакуумного насоса показано на рис. 3.1.



а)



б)

а) – фото насосу; б) – тривимірна модель насосу

Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд вакуумного насоса фірми «VALUE»

Технічні характеристики вакуумного насосу зведені до таблиці (розд. 2, табл. 2.1).

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. Зовнішній вигляд шлангів високого тиску надано на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд шлангів високого тиску

Технічні характеристики шлангу високого тиску наведені у таблиці (розд. 2, табл. 2.2).

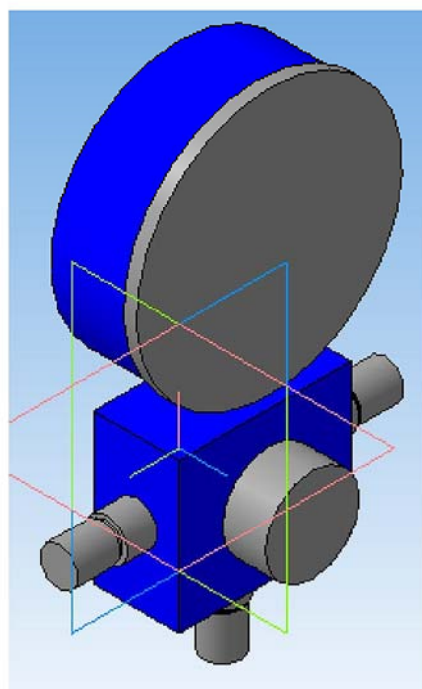
Колектор з мановакуометром фірми «Single Manifold» є по суті одно-вентильним кульковим краном марки «CH-467BV-250» зі шкалою. Серед його особливостей можливо виділити наступне:

- швидке та точне регулювання потоку середовища за рахунок використання принципу кулькового крану (повне закриття / відкриття клапана вимагає обертання лише на 90°);
- легкий поворот ручки клапана навіть під високим тиском;
- швидке визначення стану відкритого або закритого клапана на основі положення ручки;
- одиниці вимірювання $^\circ\text{C}$, $^\circ\text{F}$, бар, psi
- вимірювання вакууму до 1 атм.

Зовнішній вигляд колектора з мановакуометром представлено на рис. 3.3.



а)



б)

а) – фото колектора; б) – тривимірна модель колектора

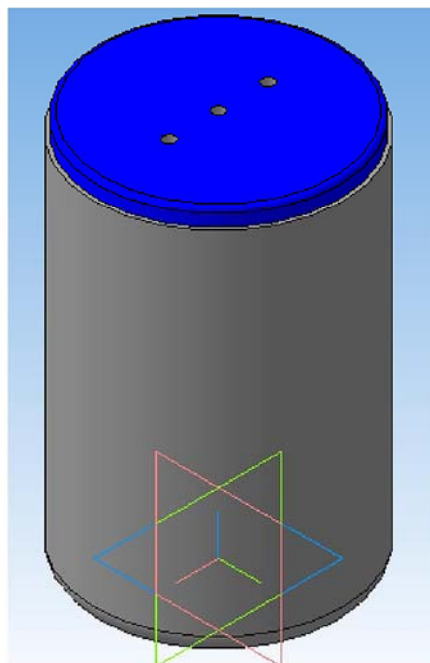
Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд колектора з манометром фірми «Single Manifold»

Ємності, що входять до складу лабораторного станду виконують роль базової ємності та ємності зливу для рідкого діелектрика. Їх об'єм на попередньому етапі створення станду становить приблизно 0,5 літра.

Зовнішній вигляд ємності для діелектрика представлено на рис. 3.4.



а)



б)

а) – фото ємності; б) – тривимірна модель ємності

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд ємності для рідкого діелектрика

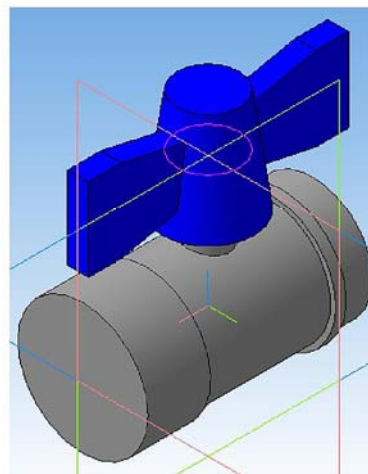
Призначення кулькових кранів у складі лабораторного станду полягає в регулюванні тиску, а також переміщення діелектрика та повітря у його межах.

Перевагами крана «Brass 59», як запірного пристрою, є простота конструкції, малий гідравлічний опір, невелика висота, можливість установки в будь-якому робочому положенні, відсутність застійних зон. Запірні крани використовуються для рідких і газоподібних середовищ.

Зовнішній вигляд кулькового крану наведено на рис. 3.5.



а)



б)

а) – фото крану; б) – тривимірна модель крану

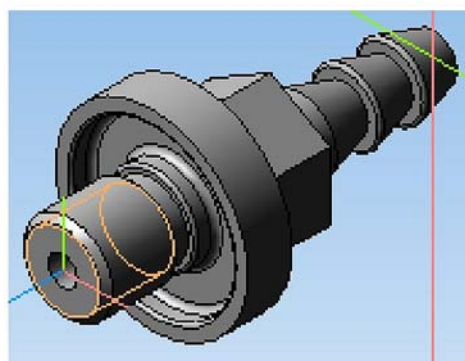
Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд крану марки «Brass 59»

Технічні характеристики кулькового крану «Brass 59» наведені у таблиці (розд. 2, табл. 2.3).

Зовнішній вигляд штуцера з різьбою М6 для виконання герметизації ємностей для діелектрика та під'єднання трубки ПВХ представлено на рис. 3.6. Герметизація здійснюється гумовим кільцем у торцевому ущільненні штуцера та кришки ємності.



а)



б)

а) – фото штуцера; б) – тривимірна модель штуцера

Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд штуцера

Для з'єднання ємностей з діелектриком та інших елементів стенду використовується в основному трубка ПВХ з внутрішнім діаметром 4 мм та товщиною стінки 0,7 мм. У разі необхідності передбачається використання трубок ПВХ більших діаметрів. Вигляд трубки ПВХ наведено на рис. 3.7.

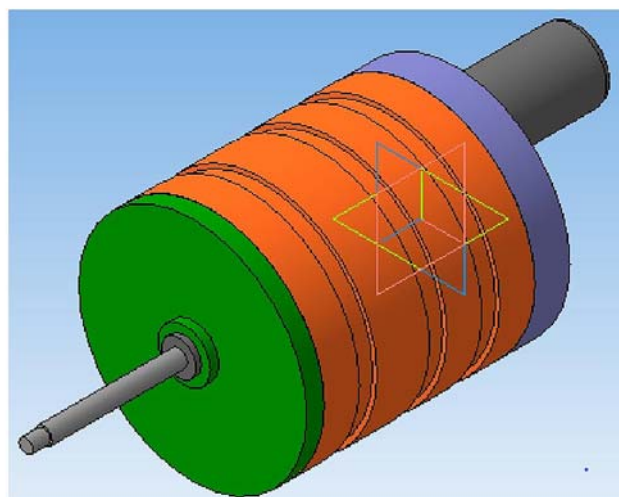


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд трубки ПВХ

У якості баророзвантаженого корпусу розглядається електричний двигун підводного виконання (рис. 3.8). Його технічні характеристики зведені до таблиці (розд. 2, табл. 2.4).



а)



б)

а) – фото двигуна; б) – тривимірна модель двигуна

Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд двигуна як баророзвантаженого корпусу

3.2 Детальний опис тривимірної моделі лабораторного стенда

В лабораторних умовах було зібрано лабораторний стенд у першому наближенні, що представлено на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд існуючої системи

З метою вдалого створення баророзвантажених корпусів і витіснення максимальної кількості кисню, було розроблено модель стенду, який передбачається для використання як штатна одиниця лабораторії.

Модель стенду, що була розроблена, має вигляд, який наведено на рис. 3.10. Лабораторний стенд пропонується реалізовувати на базі столу з вертикальною стінкою, на якій розташовуються кулькові крани та колектор з мановакуометром. На основній площі столу розміщується вакуумний насос, ємності з діелектриком у відповідних нішах та безпосередньо електричний двигун підводного виконання, який після заповнення стає баророзвантаженим корпусом.

У подальшому, як удосконалення лабораторного стенду, передбачається розробка кріплення електродвигуна з можливістю його повороту та підключення до електричної мережі, що необхідно для проведення маніпуляцій з метою скупчення повітря в одному місці з подальшим його виходом назовні.

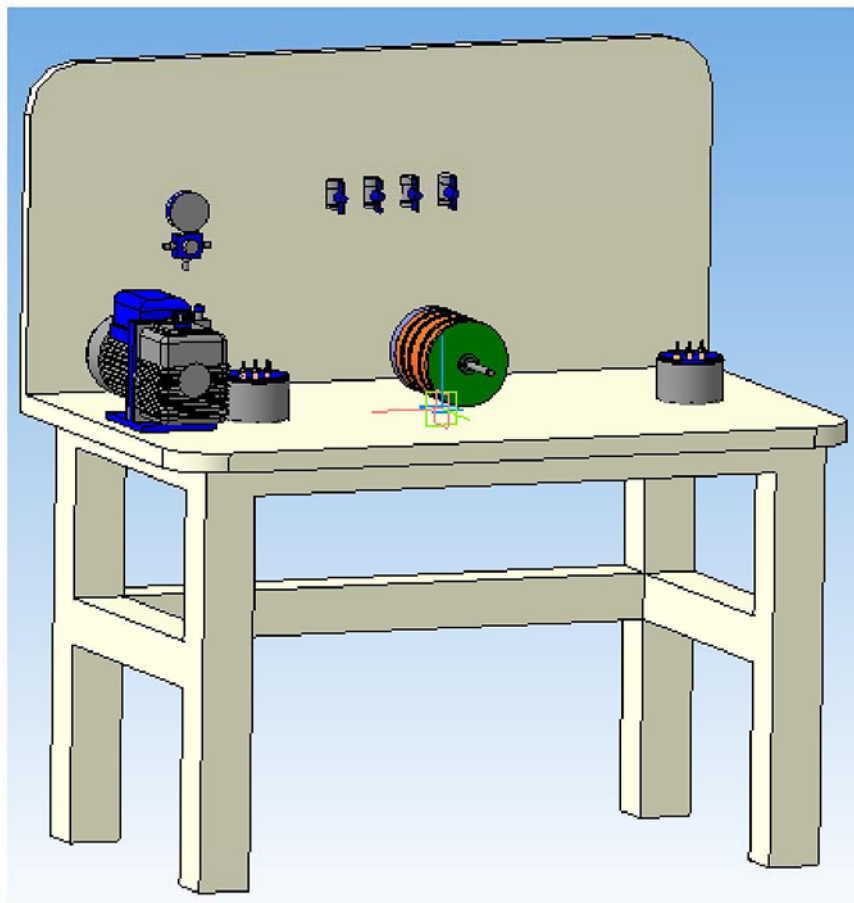


Рисунок 3.10 – Тривимірна модель лабораторного стенду для заповнення електрорушійного пристрою рідким діелектриком (без з'єднань)

Так як на моделі не показані зв'язки, що виконані при застосуванні трубок ПВХ та шлангів високого тиску, то наведемо схему з'єднань елементів (рис. 3.11).

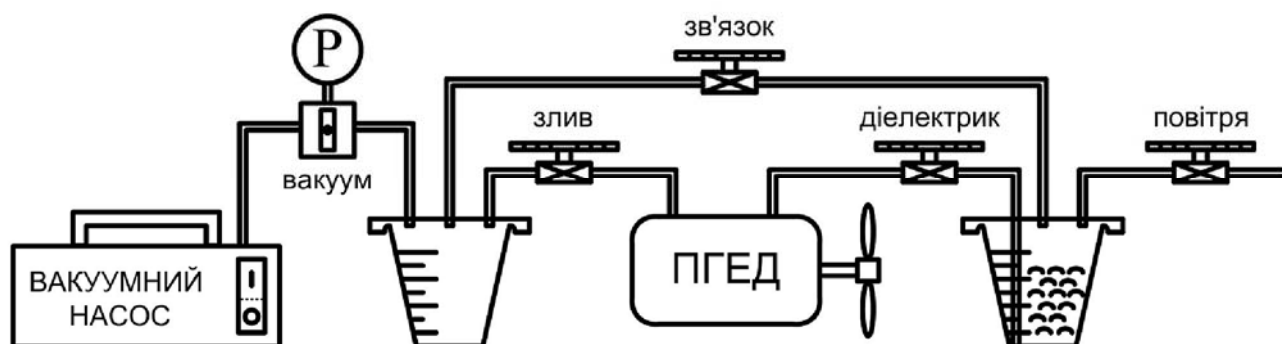


Рисунок 3.11 – Система заповнення рідким діелектриком підводного гребного електродвигуна

3.3 Правила заповнення двигунів підводного виконання рідким діелектриком

Небезпекою для підводного гребного електродвигуна (ГЕД) є проникнення морської води всередину корпусу, особливо в ГЕД, конструкція яких передбачає безпосередній вихід валу до рушія, який обертається в агресивному середовищі в умовах підвищеного тиску. Використання баророзвантажених корпусів дає змогу проектувати ГЕД, розраховані на майже необмежені глибини. Це досягається за рахунок заповнення внутрішніх порожнин ГЕД рідким діелектриком та встановлення гумового компенсатора для вирівнювання внутрішнього тиску із зовнішнім.

Наявність певних об'ємів газу в корпусі ГЕД значно зменшує надійність баророзвантаженого корпусу, тому що робочий об'єм компенсатора обмежений і на певних глибинах при повному його стисненні навантаження прикладатиметься на ущільнення валопроводу з можливістю проникнення морської води. Тому заповнення ГЕД – останній етап його збирання – повинно забезпечувати майже повну відсутність газів, в тому числі розчинених, всередині корпусу.

Система заповнення баророзвантаженого корпусу рідким діелектриком, яка передбачає дегазацію діелектрика та заповнення корпусу без додаткових складних маніпуляцій (рис 3.11).

Призначення та конструкція наведеної схеми спрямовані забезпечити максимальне заповнення ГЕД дегазованим рідким діелектриком. У зв'язку з цим, в системі потребується більше складових, ніж у вже описаних схемах:

- баророзвантажений корпус ГЕД;
- ємність з рідким діелектриком;
- зливна ємність;
- колектор з мановакууметром;
- вакуумний насос;
- система запірних кранів.

Алгоритм процедури заповнення корпусу рідким діелектриком:

а) підготовка:

1. Зливну ємність спустошити
2. Ємність з діелектриком наповнити
3. Всі крани перевести в закрите положення

б) дегазація:

1. Відкрити кран «зв'язок», «злив» та «вакуум»
2. Увімкнути вакуумний насос та створити розрідження в системі
3. Закрити кран «вакуум» та вимкнути вакуумний насос
4. Очікувати проміжок часу t (обирається емпіричним шляхом)

в) заповнення:

1. Закрити кран «зв'язок» та відкрити кран «діелектрик»
2. Відкрити кран «повітря», щоб в корпус повільно надходив діелектрик
3. Слідкувати за рівнем діелектрика у відповідній ємності та за зливним отвором. У випадку зменшення рівня діелектрика до мінімально допустимої позначки перейти до п.1. Якщо зі зливного отвору припинився вихід газу, то перейти до п. 4

г) герметизація корпусу:

1. Закрити крани «злив» та «діелектрик»
2. Від'єднати заливну трубку та закрити заливний отвір
3. Від'єднати зливну трубку та закрити зливний отвір.

Наведені схема та алгоритм процедури заповнення забезпечують мінімальний залишок газу всередині баророзвантаженого корпусу, підвищуючи його надійність [3].

4 РОЗРАХУНКИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПІДВОДНО-ТЕХНІЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

4.1 Розрахунок кабель-троса самохідного прив'язного підводного апарата

Задаємося максимальним значенням потужності РРК $P = 1,35$ кВт та обчислюємо повну потужність СППА, Вт:

$$P_{max} = P + P_0 = 1350 + 116 = 1466 \text{ Вт}$$

Розраховуємо струм, що буде протікати в КТ:

$$I_{кт} = \frac{P}{U} = \frac{1466}{220} = 3,85 \text{ А}$$

Визначення площі поперечного перерізу провідника при допустимому падінні напруги $\Delta U = 20$ В та довжині КТ ($L_{кт}$) 450 м:

$$S_{ж} = 2 \cdot \frac{\rho_m \cdot I_{кт} \cdot L_{кт}}{\Delta U} = 2 \cdot \frac{0,0175 \cdot 3,85 \cdot 450}{20} = 3 \text{ мм}^2$$

де ρ_m – питомий опір міді, що дорівнює $0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Визначення густини струму, що буде протікати в КТ:

$$j_{кт} = \frac{I_{кт}}{S_{ж}} = \frac{3,85}{3} = 1,27 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Розрахунок діаметру КТ:

$$d_{\text{кт}} = 2 \cdot \left[k_w \cdot \left(\sqrt{\frac{P}{\pi \cdot j_{\text{кт}} \cdot U \cdot n}} + \delta_w \right) + \delta_{\text{tc}} \right] = 2 \cdot \left[2,15 \cdot \left(\sqrt{\frac{1466}{\pi \cdot 1,27 \cdot 220 \cdot 1}} + 1,2 \right) + 1 \right] = 12 \text{ мм}$$

де $k_w = 2,15$ – коефіцієнт укладення жил у сердечнику КТ (для 3 жил);

$\delta_w = 1,2$ мм – товщина електричної ізоляції;

$\delta_{\text{tc}} = 1$ мм – товщина зовнішньої оболонки.

4.1.2 Розрахунок проекцій сил що діють на СППА

Розрахунок лобового опору руху СППА:

$$F_{\text{хпа}} = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S_x \cdot v_x^2 = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1025 \cdot 0,324 \cdot 1,5^2 = 187 \text{ Н}$$

де $C_x = 0,5$ – коефіцієнт гідродинамічного опору;

$S_x = a \cdot h = 0,6 \cdot 0,54 = 0,324 \text{ м}^2$ – площа проекції ПА, де a – ширина ПА, 0,6 м; h – висота ПА, 0,54 м.

Сумарна сила по осі F_x маршового руху буде складати:

$$F_x = F_{\text{кт}} \cdot \cos(\alpha) + F_{\text{хпа}} = 354 \cdot \cos(3,29) + 187 = 537 \text{ Н}$$

Розрахунок опору відносно вертикальної осі при швидкості занурення $v_y = 0,5 \text{ м/с}$:

$$F_{\text{упа}} = 0,5 \cdot C_y \cdot \rho \cdot S_y \cdot v_y^2 = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1025 \cdot 0,732 \cdot 0,5^2 = 47 \text{ Н}$$

де $C_y = 0,5$ - коефіцієнт гідродинамічного опору;

$S_y = a \cdot b = 0,6 \cdot 1,22 = 0,732 \text{ м}^2$ – площа проекції ПА: де a – ширина ПА, 0,6 м; b – висота ПА, 0,54 м.

Сумарна сила по осі F_y вертикального руху буде складати:

$$F_y = F_{\text{кт}} \cdot \sin(\alpha) + F_{\text{упа}} = 354 \cdot \sin(3,29) + 47 = 100 \text{ Н}$$

4.2 Розрахунок вертикального рушія самохідного прив'язного підводного апарата

Обираємо число гребних гвинтів $Z_{yb} = 1$ та кількість лопатей $Z_y = 4$.
Обираємо тип гвинта – в насадках, так як вони мають більш високий ККД [5].

Обираємо дискове відношення:

$$\frac{A_e}{A_0} = 0,58$$

Корисна потужність на гвинті:

$$P_{yk} = F_y \cdot v_y = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ Вт}$$

Діаметр гвинта розрахуємо за формулою:

$$D_y = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{F_y}{\rho \cdot v_y^2}} = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{100}{1025 \cdot 0,5^2}} = 0,25 \text{ м}$$

Коефіцієнт завантаження гребного гвинта по силі тяги:

$$C_{ty} = 8 \cdot \frac{F_y}{\rho \cdot v_y^2 \cdot \pi \cdot D_y^2} = 8 \cdot \frac{100}{1025 \cdot 0,5^2 \cdot \pi \cdot 0,25^2} = 16$$

Коефіцієнт взаємодії гвинта в насадках з корпусом $W_{Ty}=0,28$ та $t_y=0,101$.

Розрахунковий коефіцієнт:

$$K_{DT} = v_y \cdot D_y \cdot \sqrt{\frac{\rho}{F_y}} = 0,5 \cdot 0,25 \cdot \sqrt{\frac{1025}{100}} = 0,4$$

За допомогою розрахункового коефіцієнта по розрахунковій діаграмі:

~ відносна поступ $J_y = 0,26$;

~ відносний коефіцієнт $\frac{P}{D} = 1,13$;

~ попереднє значення коефіцієнта корисної дії $\eta_0 = 0,38$.

Розраховуємо частоту обертання гребного гвинта:

$$n = \frac{v_y}{J \cdot D_y} \cdot 60 = \frac{0,5}{0,26 \cdot 0,25} \cdot 60 = 461 \text{ об/хв}$$

Коефіцієнт корисної дії гвинта:

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{1-t}{1-W_t} = 0,38 \cdot \frac{1-0,101}{1-0,28} = 0,475$$

Коефіцієнт корисної дії редуктору $\eta_p = 0,98$.

Попереднє значення потужності вертикального двигуна:

$$P_y = \frac{P_{yk}}{\eta \cdot \eta_p} = \frac{50}{0,475 \cdot 0,98} = 99 \text{ Вт}$$

Обираємо по каталогу двигун серії ДМХ-100 з номінальними даними:

- корисна потужність $P_2 = 0,1 \text{ кВт}$;
- споживана потужність $P_1 = 0,156 \text{ кВт}$;
- частота живлення $f = 50 \text{ Гц}$;
- частота обертання $n = 1740 \text{ об/хв}$;
- кількість фаз $m = 1$;
- ККД $\eta_d = 0,63$.

4.3 Розрахунок маршових рушіїв самохідного прив'язного підводного апарата

Обираємо число гребних гвинтів $Z_{XB} = 2$ та кількість лопатей $Z_x = 4$.
Обираємо тип гвинта – в насадках, так як вони мають більш високий ККД.

Обираємо дискове відношення $\frac{A_e}{A_0} = 0,35$.

Сила тяги на одному гребному гвинті:

$$F_{mp} = \frac{F_x}{Z_{XB}} = \frac{537}{2} = 268,5 \text{ Н}$$

Корисна потужність на гвинті:

$$P_{xk} = F \cdot v_x = 268,5 \cdot 1,5 = 403 \text{ Вт.}$$

Діаметр гвинта розрахуємо за формулою:

$$D_x = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{F_{mp}}{\rho \cdot v_x^2}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{268,5}{1025 \cdot 1,5^2}} = 0,17 \text{ м}$$

Коефіцієнт завантаження гребного гвинта по силі тяги:

$$C_{tx} = 8 \cdot \frac{F}{\rho \cdot v_x^2 \cdot \pi \cdot D_x^2} = 8 \cdot \frac{268,5}{1025 \cdot 1^2 \cdot \pi \cdot 0,17^2} = 10,186$$

Коефіцієнт взаємодії гвинта в насадках з корпусом для двох гвинтів $W_{Ty} = 0$,
 $t_y = 0$.

Розрахунковий коефіцієнт:

$$K_{DT} = v_x \cdot D_x \sqrt{\frac{\rho}{F}} = 1,5 \cdot 0,17 \cdot \sqrt{\frac{1025}{268,5}} = 0,5$$

За допомогою розрахункового коефіцієнта по розрахунковій діаграмі визначаємо відносну поступ $J_y = 0,3$ та відносний коефіцієнт $\frac{P}{D} = 1,09$.

Розраховуємо частоту обертання гребного гвинта:

$$n = \frac{v_x}{J \cdot D_x} \cdot 60 = \frac{1,5}{0,32 \cdot 0,17} \cdot 60 = 1648 \text{ об/хв}$$

Попереднє значення потужності маршового двигуна:

$$P_x = \frac{P_{xk}}{\eta} = \frac{202,5}{0,44} = 460 \text{ Вт}$$

Обираємо по каталогу двигун серії АИРЕ 71 А2 з номінальними даними:

- корисна потужність $P_2 = 0,5 \text{ кВт}$;
- споживана потужність $P_1 = 0,55 \text{ кВт}$;
- частота живлення $f = 50 \text{ Гц}$;
- частота обертання $n = 3000 \text{ об/хв}$;
- кількість фаз $m = 1$;
- ККД $\eta_d = 0,75$.

Таким чином, порівняємо задану потужність з розрахованою:

$$P_p = 2 \cdot P_x + P_y = 2 \cdot 550 + 100 = 1200 \text{ Вт}$$

Розрахована потужність рушійно-рульового комплексу не перевищує заданої.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Задачі охорони праці - забезпечення нормальних, здорових, безпечних умов праці, вивчення причин травматизму, професійних захворювань, пожарів та розробки систем заходів і вимог по їх усуненню.

Законодавство України про охорону праці базується на:

- Конституції України, яка гарантує права громадян на працю, відпочинок, охорону здоров'я, медичну допомогу і страхування;
- Закон України „Про охорону праці”, де вказано, що державна політика в області охорони праці базується на пріоритеті життя і здоров'я людей в умовах їх трудової діяльності. Відповідальність за створення нормальних і безпечних умов труда несе роботодавець незалежно від форми власності підприємства чи установи які здійснюють розробку виробництва та застосування ПЕОМ і ПК;
- нормах штучного та природного освітлення визначені ДБН;
- Законі України „Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”, де вказані основні вимоги гігієни та санітарії;
- параметрах мікроклімату на робочих місцях, які регламентовані Держстандартом і ДСН;
- категорії робіт по величині загальних енергозатрат, що встановлені ДСН;
- Законі України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», який гарантує право трудящих на соціальний захист і компенсацію постраждалим матеріальних втрат

при травмуванні і професійного захворювання;

- кодексі законів про працю (КЗпП) де викладені окремі вимоги охорони праці;
- пожежна безпека, яка викладена в законі України «Про пожежну безпеку» і «Правила про пожежну безпеку в Україні».

Крім того є ряд Державних стандартів, правил, норм, інструкцій та інших нормативних документів, регламентуючих питання охорони праці.

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при зборці та монтажі лабораторного стенду

Небезпечними називаються чинники, здатні при відповідних умовах викликати гостре порушення здоров'я або загибель організму; шкідливими – чинники, що чинять негативний вплив на працездатність або викликають професійні захворювання і інші професійні наслідки.

Організм людини може пристосуватися до виробничих умов лише тоді, коли шкідливі або небезпечні чинники не досить активні і їх рівень знаходиться в межах гранично допустимих нормативних значень. Якщо ж шкідливі і небезпечні чинники виробничого середовища досить активні, тоді організм людини не в змозі до них пристосуватися і його нормальне функціонування порушується, а стан здоров'я погіршується внаслідок чого виникають виробничі травми або професійні захворювання.

Відповідно до державного стандарту шкідливі і небезпечні чинники за дією та природою впливу поділяються на чотири класи: фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні.

Між виробничими небезпечними й шкідливими чинниками досить важко провести відповідну межу. Один і той же виробничий чинник за природою своєї дії може одночасно належати до різних класифікаційних груп. Наприклад, виробничий пил залежно від походження та інших характеристик може

спричинити легеневий фіброз або травмування очей або інших ділянок тіла; іонізуюча радіація може викликати променеву хворобу або спричинити променеве смертельне ураження («смерть під променем»); шум може бути причиною професійного невриту або слухової травми і т. ін.

Відповідна форма організації праці та результати наукових розробок з питань гігієни та виробничої санітарії усувають дію деяких шкідливих небезпечних чинників, знімають негативні наслідки перевантажень як фізичного так й психофізіологічного характеру і створюють умови для тривалого довголіття та високого рівня працездатності .

Електротехнічні об'єкти є обов'язковим складником будь-якого виробництва. Питанню запобігання електротравматизму постійно приділяється велика увага. При проектуванні нового електрообладнання необхідно проводити аналіз небезпечної і шкідливої дії на людей електричного струму, електричної дуги і електромагнітного поля.

При виконанні монтажних робіт на працюючих можуть впливати наступні небезпечні фактори:

- запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- вплив електростатичного заряду;
- незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість;
- незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;
- вплив бризок і крапель розплавленого припою;
- ураження електричним струмом;
- група психофізіологічних шкідливих виробничих факторів: фізичні перевантаження (статичні і динамічні) і нервово-психічні (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Перебуваючи в запиленій атмосфері, робітники піддаються впливу пилу і парів; шкідливі речовини осідають на поверхні шкірного покриву, потрапляють на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, зі слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються в легені. Поряд із забрудненням

повітряного середовища забруднюються робочі поверхні, одяг і шкірні покриви працюючих.

Недостатнє і нерівномірне освітлення робочих місць призводить до перенапруги зору, перевтоми організму, до виникнення надмірної нервової дратівливості, ослаблення уваги. Доведено, що в половини працюючих у таких умовах спостерігаються дефекти зору – короткозорість, зниження гостроти зору та інше, а в 3,8% чоловіків виникає частковий дальтонізм.

Негативно впливає на зір не тільки недостатня освітленість, а й занадто яскраве освітлення. Перевищення норм яскравості веде до зниження функцій зору, викликає роздратування і різь в очах, головні болі.

Електричний струм. Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний і різнобічний характер. Проходячи через організм людини, електричний струм справляє термічну, електролітичну, механічне та біологічне дії.

Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, що знаходяться на шляху струму, що викликає в них серйозні функціональні розлади.

Електролітична дія струму виражається в розкладанні органічної рідини, в тому числі і крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Механічне (динамічний) дію струму виражається в розшаруванні, розриві та інших подібних ушкодженнях різних тканин організму (м'язової тканини, стінок кровоносних судин, судин легеневої тканини та ін.) В результаті електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перегрітої струмом тканинної рідини і крові.

Біологічна дія струму проявляється в роздратуванні і порушенні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають в нормально чинному організмі.

Втома. Після тривалої важкої або напруженої роботи може виникнути стомлення, тобто особливе фізіологічний стан організму, що виражається у тимчасовому зниженні працездатності. Об'єктивними ознаками втоми служать падіння продуктивності праці і триваюче зміна фізіологічних функцій понад усталеного робочого рівня. При важкому м'язовому навантаженні це зазвичай призводить до різкого почастишання дихання і пульсу, підвищення артеріального тиску і зростанню енергетичних витрат.

5.2 Заходи з техніки безпеки при удосконаленні лабораторного стенду

На практиці користуються двома видами освітлення - природним і штучним. Діапазон довжин хвиль сонячного випромінювання в оптичній області спектра перебуває в межах від 0,1 до 3,4 мкм. Оптична частина спектру включає видиму і невидиму (ультрафіолетову та інфрачервону) частини спектра. Розглянемо випромінювання в оптичній області спектра.

Природне освітлення позитивно впливає не тільки на зір, але також тонізує організм людини в цілому і надає сприятливу психологічну дію. У зв'язку з цим все приміщення відповідно до санітарних норм і правил повинні мати природне освітлення. Виняток становлять виробництва, де природне освітлення порушує технологічний процес (фотолабораторії і т.п.).

Природне освітлення приміщень здійснюється боковим світлом-через світлові прорізи в зовнішніх стінах чи через прозорі частини стін, виконані з пустотілих скляних блоків; верхнім - через світлові прорізи, що влаштовуються в покритті, чи через прозорі частини покриттів; комбінованим - через світлові прорізи в покритті і стінах чи через прозорі огорожі покриттів і стін.

Штучне освітлення застосовується при роботі в темний час доби і вдень, коли за умовами технології, організації виробництва або клімату в місці будівництва потрібні об'ємно-планувальні рішення, які не дозволяють забезпечити нормовані значення КПО (багатоповерхові будинки великої ширини,

одноповерхові будівлі з прогонами великої ширини і т.п.). Освітлення, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним, називається змішаним освітленням. Штучне освітлення підрозділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне.

Нормування штучного освітлення. Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової роботи прийнято нормувати мінімальну освітленість на найбільш темному ділянці робочої поверхні.

При виборі нормованих значень освітленості необхідно брати до уваги наступні показники: точність зорової роботи, коефіцієнт відбиття робочої поверхні ρ і контраст об'єкта розрізнення з фоном K .

Класифікація зорової роботи по точності визначається найменшим розміром (в міліметрах) об'єкта розрізнення. Об'єктом відмінності прийнято називати розглянутий предмет, окрему його частину або дефект, які потрібно розрізняти в процесі роботи (наприклад, тріщина, точка, лінія на аркуші креслення і т.п.).

На безпеку робіт, для підвищення продуктивності праці, зниження втоми працюючого надає сильний вплив організація робочого місця. Організація робочого місця залежить від виборі робочої пози, визначення робочих зон, розміщення органів керування, індикаторів, інструментів, і заготовок.

Забезпечення електробезпеки. Електробезпека забезпечується відповідною конструкцією електроустаткування, застосуванням технічних засобів захисту, організаційними і технічними заходами.

Конструкція електроустаткування повинна відповідати умовам його експлуатації, забезпечувати захист персоналу від зіткнення зі струмоведучими частинами й устаткуванням – від влучення усередину сторонніх предметів і води.

Організаційні і технічні заходи щодо забезпечення електробезпеки полягають в основному у відповідному навчанні, інструктажі і допуску до роботи людей, що пройшли медичний огляд, виконанні ряду технічних заходів при проведенні робіт з електроустаткуванням, дотриманні особливих вимог при роботі з частинами, що знаходяться під напругою.

Заходи щодо пожежної профілактики розділяються на організаційні, технічні, режимні й експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильний зміст будинків, території, протипожежний інструктаж робітників та службовців, організацію добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів по питаннях посилення пожежної безпеки та ін.

До технічних заходів відносяться дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будинків, встановленні електропроводів і устаткування, опалення, вентиляції, освітлення, правил розміщення устаткування.

Заходи режимного характеру – це заборона паління в невстановлених місцях, проведення зварювальних і інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях та ін.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти й випробування технологічного устаткування.

ВИСНОВКИ

Виконано удосконалення лабораторного стенда для заповнення баророзвантажених корпусів. Наведено технічні характеристики виробу та основних його складових елементів.

Удосконалено лабораторний стенд для створення баророзвантажених корпусів, якими, зазвичай, у складі самохідного прив'язного підводного апарата виступають електрорушійні пристрої підводного виконання.

Представлено розташування складових елементів стенда на базі лабораторного стола з вертикальною стінкою, а також наведено етапи, за якими відбувається процес створення баророзвантаженого корпусу. Наведено тривимірну модель конструкції удосконаленого лабораторного стенда з детальним описом прийнятих технічних рішень.

Проведені розрахунки технічних параметрів гребного електродвигуна. Виконано розрахунок об'єму його гумового компенсатора. Виконано розрахунок та побудову робочих та пускових характеристик серійного зразка гребного електродвигуна.

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. 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.
3. Блінцов О.В., Клочков О.П. Удосконалення конструкції гребного електродвигуна. *Проблеми автоматики і електрообладнання транспортних засобів: Матеріали IX Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю*. Миколаїв: НУК, 2012. С. 121-124.
4. 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.
5. Блінцов В.С., Клочков О.П. Розробка лабораторного стенда для дослідження асинхронного електродвигуна у складі прив'язного підводного апарата. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: НУК, 2012. С. 523-524.
6. 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.