

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії
(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки
(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»
РОЗРОБКА ШАРНІРУ ЗМІСПОДІБНОГО РОБОТА**

спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМ(МОРВС)-42

ГРЕШТА Денис Дмитрович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
ВАЛЕЦЬКИЙ Богдан Петрович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2025 р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
ПРИДАЛЬНИЙ Борис Іванович

(підпис)

Луцьк - 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Перший (бакалаврський) рівень

Освітня програма: «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи»

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПМіМ

_____ Р. РЕДЬКО

«__» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

ГРЕШТИ Дениса Дмитровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. *Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Розробка шарніру змієподібного робота», керівник роботи Валецький Богдан Петрович доцент, к.т.н. затверджені наказом вищого навчального закладу від «31» грудня 2024 р. № 910/01-07.*
 2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 01.06.2025 р
 3. *Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація по спеціальних верстатах, креслення вузлів верстатів-аналогів, конструкторська документація, нормативні дані.*
 4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Інформаційний огляд підводної робототехніки, 2. Розробка та опис принципової схеми. 3. Розробка кінематики та структури шарніра. 4. Розробка та розрахунок конструкції шарніра. 5. Охорона. Загальні висновки. Список посилань. Додатки*
 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
- Загальний вигляд приводу робота – 2 л, Схема кінематична приводу робота – 1 л., Креслення кріплення приводу – 1л

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання . . . 202 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Обґрунтування теми	06.12.2024	
2.	Огляд літератури із досліджуваної проблеми	13.02.2025	
3.	Інформаційний огляд підводної робототехніки	27.02.2025	
4.	Розробка та опис принципової схеми.	13.05.2025	
5.	Розробка кінематики та структури шарніра	27.03.2025	
6.	Розробка та розрахунок конструкції шарніра	09.04.2025	
7.	Охорона праці	16.04.2025	
8.	Висновки та пропозиції	08.05.2025	
9.	Формування списку використаних джерел	08.05.2025 р.	
10.	Формування додатків	17.05.2025 р.	
11.	Оформлення ілюстративного матеріалу	17.05.2025 р.	
12.	Нормоконтроль	27.05.2025	
13.	Інструментальна перевірка на академічний плагіат	28.05.2025 р.	
14.	Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту	31.05.2025 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Грешта Д.Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Валецький Б.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

ГРЕШТА Д.Д. Розробка шарніру змієподібного робота. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Ця робота присвячена проектуванню двовісного шарніра для плавучого змієподібного робота. Завдання, що виконувалися в процесі проектування, включали: вивчення аналогів змієподібних роботів, вибір принципової схеми, розробку кінематики шарніра, розробку схеми інформаційно-керуючої підсистеми та проектування конструкції шарніра. Були проведені геометричні та міцнісні розрахунки двоступеневого шарнірного механізму.

Для перевірки необхідних конфігурацій та демонстрації його роботи була створена 3D-модель маніпулятора в SolidWorks. Було розраховано геометрію черв'ячної передачі.

Розроблений шарнір здатний обертатися по двох осях до 130° . Привід шарніра генерує крутний момент 50 Нм, а тривалість обертання не перевищує 10 секунд.

Цей підводний безпілотний робот призначений для обслуговування підводних об'єктів, що є актуальним, враховуючи зростаючу потребу в дистанційному огляді та обслуговуванні численних підводних систем та споруд.

Завдяки своїй гнучкості, таких роботів у майбутньому також можна буде використовувати для дослідження важкодоступних частин річок та озер або обстеження підводних ділянок з підвищеною небезпекою.

РОБОТОТЕХНІКА, МЕХАТРОНІКА, ЗМІЙ, ПІДВОДНИЙ, ШАРНІР

					<i>032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ</i>			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Розробка шарніру змієподібного робота Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Грешта Д.Д.</i>					<i>в</i>	<i>з</i>	
<i>Перевірів</i>	<i>Валецький Б.П.</i>					<i>ЛНТУ, ФТІМІ, КАФ. ПМІМ, гр. ІМ(МОРВС)-42</i>		
<i>Н.контр.</i>	<i>Валецький Б.</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Редько Р.Г.</i>							

ABSTRACT

Greshta D.D. Development of a snake-like robot joint. Manuscript.

Qualification work for the bachelor's degree in "Metalworking equipment and robotic production systems", specialization 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

This work is devoted to the design of a biaxial hinge for a floating serpentine robot. The tasks performed during the design process included: studying analogues of serpentine robots, selecting a schematic diagram, developing the kinematics of the hinge, developing a scheme of the information and control subsystem, and designing the hinge structure. Geometric and strength calculations of the two-stage hinge mechanism were carried out.

A 3D model of the manipulator was created in SolidWorks to verify the required configurations and demonstrate its operation. The geometry of the worm gear was calculated.

The hinge developed can rotate up to 130° along two axes. The hinge drive generates a torque of 50 Nm and the rotation time does not exceed 10 seconds.

This unmanned underwater robot is designed for maintenance of underwater facilities, which is relevant given the growing need for remote inspection and maintenance of numerous underwater systems and structures.

Due to their flexibility, such robots may also be used in the future to explore hard-to-reach parts of rivers and lakes, or to inspect underwater areas of increased risk.

ROBOTICS, MECHATRONICS, KITE, UNDERWATER, HINGE

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ЗМІСТ	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД ПІДВОДНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ	9
1.1. Історія розвитку та класифікація підводної робототехніки.....	9
1.2. Модульний гнучкий підводний робот Eelume	10
1.3. Підводний робот-змія EELY500	11
1.4. Постановка задачі.....	12
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТА ОПИС ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	14
2.1 Опис роботи робота	14
2.2 Компоновка робота	15
2.3 Візуалізація роботи	16
РОЗДІЛ 3	20
РОЗРОБКА КІНЕМАТИКИ ТА СТРУКТУРИ ШАРНІРА.....	20
3.1 Варіанти схеми приводу	20
3.2 Вибір схеми приводу.....	21
3.3 Опис структурно-функціональної схеми робота	22
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ ШАРНІРА .	24
4.1 Опис конструкції шарніра	24
4.2. Вибір двигуна	26
Розрахунок необхідних характеристик	26
4.3 Визначення допустимих контактних напружень.....	28
4.4 Визначення допустимих напружень на згин	29
4.5 Перевірочний розрахунок передачі на контактну міцність	30
4.6 Перевірочний розрахунок зубців колеса на витривалість при згині .	31
4.7 Розрахунок характеристик приводу шарніра	32
4.8 Розрахунок зусилля та моменту, що створюються маніпулятором...	34

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	36
5.1 Аналіз виробництва, безпеки праці та навколишнього середовища .	36
5.2 Мікроклімат	37
5.3 Освітлення.....	38
5.4 Електробезпека.....	40
5.5 Пожежна безпека.....	41
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44
ДОДАТКИ.....	46

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Розвиток підводної робототехніки в Україні, хоча й має певні досягнення, ще не є широко розвинутим.

Розвиток підводної робототехніки відіграє ключову роль у сучасних дослідженнях і технологічному прогресі. В умовах зростаючої потреби в дистанційному огляді та обслуговуванні підводних об'єктів стає актуальним створення високофункціональних автоматизованих систем. Одним із перспективних напрямів є використання плавучих змієподібних роботів, які завдяки своїй гнучкості можуть ефективно виконувати завдання в складних умовах.

Україні дані дослідження стикаються з деякими проблемами.

По-перше, відсутність достатнього фінансування та інвестицій у наукові дослідження та розробки.

По-друге, брак досвідчених кадрів та кваліфікованих спеціалістів у цій галузі.

По-третє, відсутність достатньої інфраструктури для тестування та випробування підводних роботів.

Попри вищезазначені проблеми, перспектив розвитку підводної робототехніки в Україні є досить великими. Зокрема, враховуючи, що Україна має значні морські ресурси та берегову лінію, підводна робототехніка може відігравати важливу роль у розвитку економіки та науки. Впровадження нових технологій, залучення інвестицій та підтримка наукових досліджень допоможуть Україні стати лідером у сфері підводної робототехніки.

Завдяки технологічним досягненням підводна робототехніка має потенціал для розширення сфер застосування. У майбутньому такі роботи можуть використовуватися для дослідження важкодоступних ділянок річок та озер, а також для аварійно-рятувальних операцій.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД ПІДВОДНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

1.1. Історія розвитку та класифікація підводної робототехніки

Історія розвитку підводної робототехніки охоплює понад 40 років. За цей час значно змінилися засоби, методи організації, створення та використання підводних робототехнічних систем і комплексів.

Безпілотні підводні апарати (Unmanned underwater vehicle, UUV), іноді відомі як підводні дрони [1], є підводними апаратами, які можуть працювати під водою без людини. Ці апарати можна розділити на дві категорії: дистанційно керовані підводні апарати (ROUV) і автономні підводні апарати (AUV). ROUV дистанційно керує людина-оператор. АНПА автоматизовані та працюють незалежно від прямого втручання людини.

Підводні апарати з дистанційним керуванням (ROUVs) – це підклас UUV, головною метою якого є заміна людей для підводних завдань через складні підводні умови. ROUV призначені для виконання освітніх або промислових та ін. завдань [2]. Ними вручну керує оператор для виконання завдань, зокрема спостереження та патрулювання [2]. Структура ROUV позбавляє його можливості працювати автономно.

Автономні підводні апарати (AUV) визначаються як підводні апарати, які можуть працювати без оператора [3]. Розміри можуть коливатися від кількох кілограмів до тисяч кілограмів [4]. Перший AUV був створений у 1957 році з метою проведення досліджень в арктичних водах для лабораторії прикладної фізики при Університеті Вашингтона.

Прогрес у галузі підводної робототехніки зосереджений на створенні вдосконалених систем, технологій і багатофункціональних комплексів, які здатні виконувати різноманітні задачі в складних умовах підводного середовища.

Спеціалізація апаратів визначилась наступним чином: буксовані застосовують для пошукових операцій, телеуправляемі через кабель як робочі апарати, автономні для досліджень. Оптимальним вважається комплекс, який

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

поєднує всі три типи апаратів, побудований на модульній технології з можливістю змінювати обладнання та функціонально перебудовуватись.

1.2. Модульний гнучкий підводний робот Eelume

Eelume – це модульний гнучкий підводний робот, розроблений для інспекції та обслуговування підводного виробничого обладнання. Проект стартував у 2015 році в Норвезькому університеті науки і технологій.

Робот складається з модульної комбінації з'єднувачів, підрулюючих пристроїв і модулів із різним корисним навантаженням. З'єднувачі забезпечують гнучкість конструкції, а підрулюючі пристрої дозволяють створювати тягу в будь-якому напрямку, формуючи різні конфігурації тіла робота.



Рисунок 1.1 – Прототип Eelume

У 2017 році було представлено друге покоління Eelume, здатне занурюватися на глибину до 500 метрів. Робот оснащений двома маніпуляторами: один фіксує його на місці роботи, а інший використовується для роботи з інструментами, що потребують моментів обертання.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

На сьогодні існує готовий концепт робота, який проходить випробування. Цей робот демонструє перспективи для підводних досліджень та обслуговування.

Коли цей автономний безпілотний підводний апарат (АБПА) потрапляє в робочу зону, він створює бездротовий широкосмуговий двонапрямлений канал зв'язку з пунктом управління.

У майбутньому розробники прагнуть забезпечити здатність робота залишатися зануреним і в постійній готовності до роботи протягом півроку. Для цього потрібно вдосконалити конструкцію, щоб робот міг самостійно змінювати свої модулі й робочі інструменти, обираючи потрібні для кожної операції з підводного сховища.

1.3. Підводний робот-змія EELY500

EELY500 – це підводний робот-змія, розроблений для технічного обслуговування підводних станцій. У 2019 році норвезька компанія Eelume Spinoff провела його випробування. Спочатку робот був створений дослідницькою групою SINTEF та Норвезьким університетом науки і технологій (NTNU), а зараз його розробкою займається компанія Eelume Spinoff.

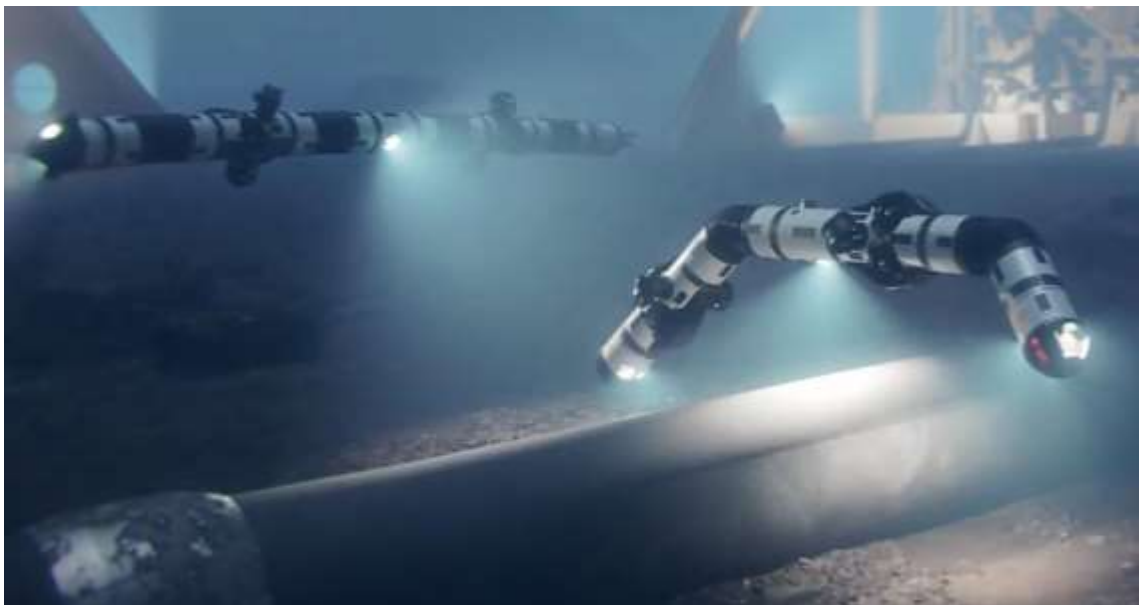


Рисунок 1.2 – Робот-змія EELY500

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Робот має гнучкий сегментований корпус, який рухається у воді за допомогою підрулюючих пристроїв. Він оснащений освітленням, камерою та змінними інструментами маніпулятора. Управління може здійснюватися дистанційно через кабель або автономно, якщо кабель не підключений.

Під час руху робот випрямляє своє тіло для досягнення максимальної швидкості, а для виконання завдань може згинатися або приймати U-подібну форму. У цій конфігурації він здатний захоплювати об'єкти одним кінцем тіла, а іншим виконувати завдання, наприклад, повертати клапани за допомогою маніпулятора.

Планується, що EELY500 буде використовуватися на нафто-газовому родовищі Асгард на глибині 240–310 метрів біля узбережжя Норвегії. Перед цим робот пройде випробування у контрольованих умовах на глибині 360 метрів у фіорді Тронхейма.

1.4. Постановка задачі

Відповідно до технічного завдання, необхідно розробити шарнір для змєєподібного безпілотного підводного апарата (БПА). Основне призначення робота полягає у виявленні можливих пошкоджень об'єктів та витоків нафти/газу з подальшим, за можливості, їх усуненням.

Апарат повинен складатися із семи сегментів, з'єднаних між собою спеціальними керованими двовісними шарнірами, і мати здатність працювати у різних конфігураціях:

- сегменти орієнтовані вздовж однієї осі для забезпечення максимального швидкісного переміщення;
- сегменти утворюють U-подібну траєкторію для руху вздовж об'єкту;
- сегменти складені у кубічну форму для огляду та переміщення навколо об'єктів.

Габаритні розміри кожного сегмента становлять приблизно 150×150 мм, при цьому відстань між центрами шарнірів варіюється в межах 250-300 мм. На

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

кінцях апарата мають бути встановлені механічні захватні пристрої. Робот повинен мати нейтральну плавучість або невеликий запас плавучості.

Кожен шарнір повинен забезпечувати обертання в двох площинах на кут до 130° . Мінімальний крутний момент, який створює привід шарніра, повинен становити $50 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а час повного обертання – не перевищувати 10 секунд.

Необхідно створити тривимірну модель робота у програмному середовищі SolidWorks і перевірити його функціональність у зазначених трьох конфігураціях.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА ОПИС ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

2.1 Опис роботи робота

Даний робот призначений для занурення на невеликі глибини (до 20 метрів). У зв'язку з цим оптимально зробити апарат радіокерованим. Загальна схема комплексу радіокерованого безпілотного підводного апарату (БПА), який підключено до системи забезпечувального судна, представлена на рис. 2.1.

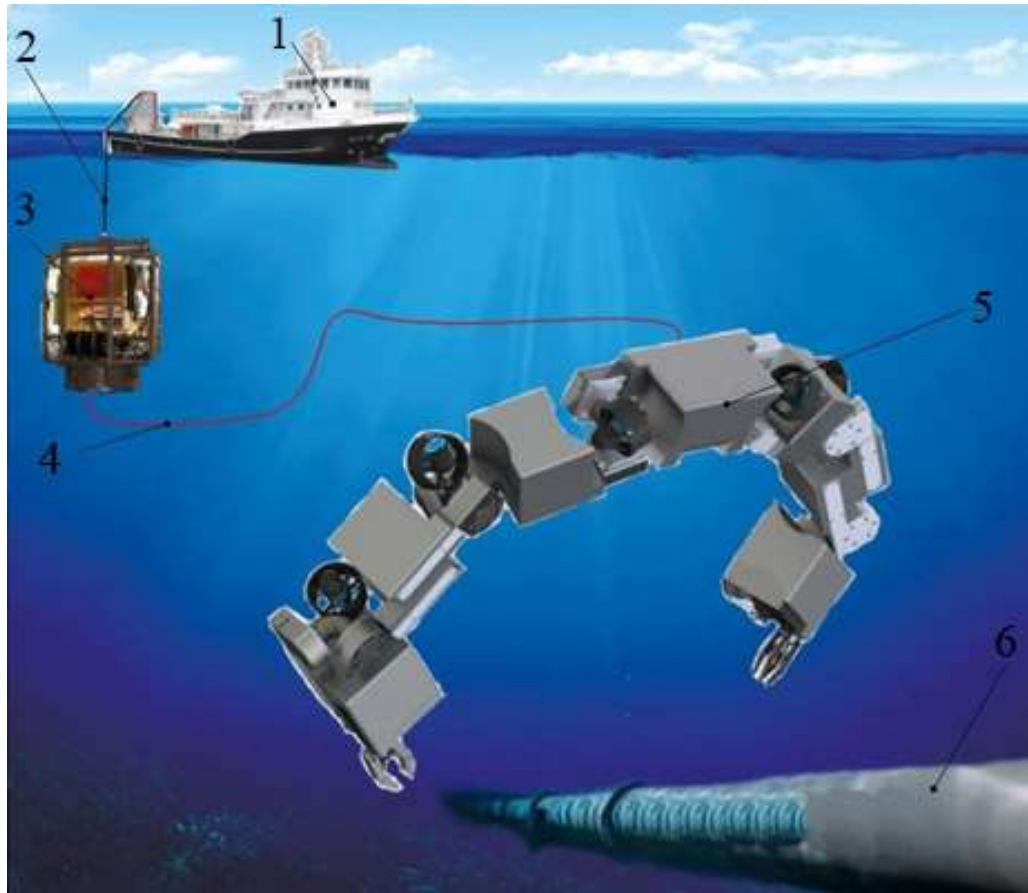


Рисунок 2.1 – Загальна схема телекерованого комплексу
безпілотного підводного апарату

Керування апаратом здійснюється з головного пульта управління, розташованого на борту судна-носія 1. До судна за допомогою кабель-тросу 2 приєднаний гараж-заглиблювач 3, в якому розміщується БПА під час його занурення та доставки на глибину. Апарат з'єднується з гаражем-заглиблювачем коротким та легким плавучим кабелем 4. Гараж-заглиблювач дозволяє розмістити на ньому частину блоків системи електроживлення та

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

управління, тим самим звільняючи додатковий корисний простір на БПА і зменшуючи його масу.

Перебуваючи на глибині, робот витягується вздовж однієї осі та переміщується до місця роботи. Досягнувши об'єкту 6, апарат приймає U-подібну форму 5 та починає рух уздовж об'єкту.

Для перекриття вентиля апарат складається у кубічну форму, набуваючи конфігурації дворукого маніпулятора. Одним захватом робот утримується за трубу, а другим захватом здійснює поворот вентиля.

Робот складається із семи блоків, з'єднаних між собою двовісними шарнірами, що забезпечує можливість роботи в різних конфігураціях. Переміщення апарата здійснюється за допомогою лопатних рушіїв, які розташовані в центрі шарнірів. У кожній конфігурації ці рушії забезпечують стільки ступенів рухливості апарата, скільки необхідно для виконання його функцій.

Для огляду об'єктів апарат оснащений трьома відеокамерами та модулями підсвітки. Плати управління двигунами, які розміщені в кожному блоці робота, підключаються до головного пульта управління через шину даних. Крім цього, у блоках встановлені акумулятори та повітряні подушки для забезпечення плавучості.

2.2 Компоновка робота

На рисунку 2.2 зображено 3D-модель підводного змеєподібного робота, коли його сегменти складені у кубічну форму, надаючи йому вигляду дворукого маніпулятора.

Робот складається з центрального головного блоку 1, у якому розташована рухома камера 6. По обидва боки до головного блоку приєднано по три модульних блоки 3. Усі блоки з'єднані між собою двовісними шарнірами 2. У центрі шарнірів розташовані лопатеві рушії 4.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

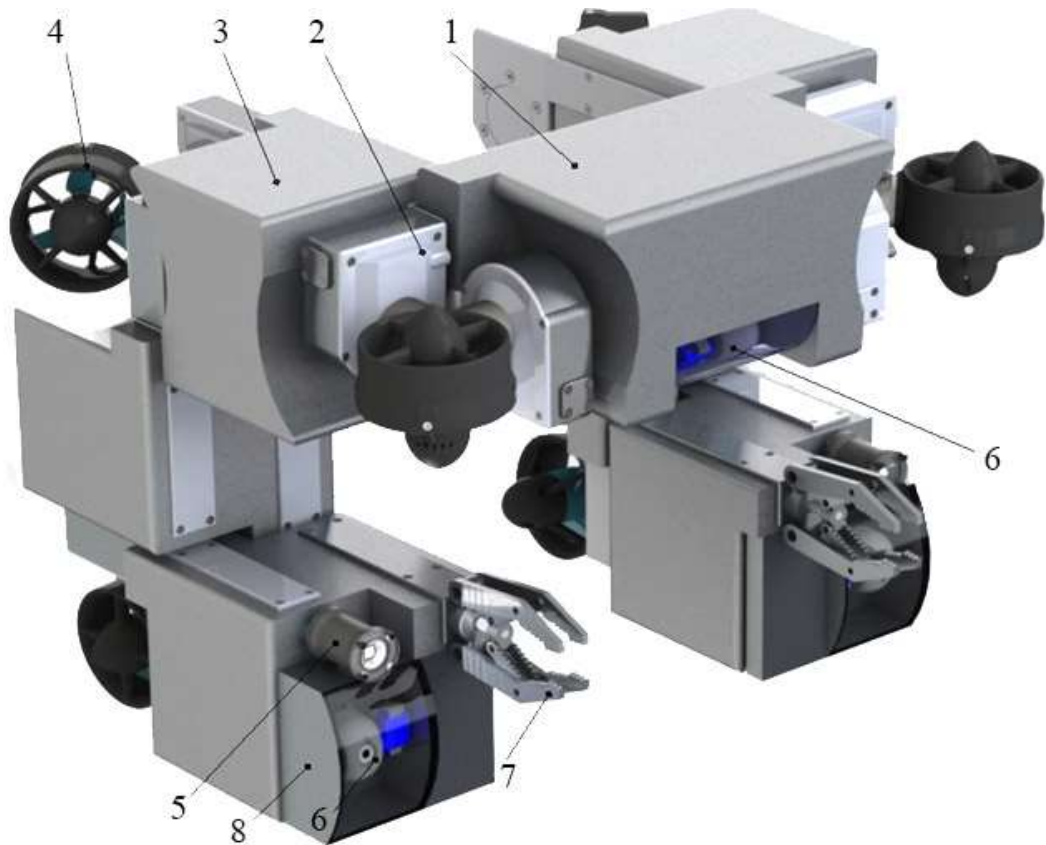


Рисунок 2.2 – 3D модель робота

На крайніх блоках встановлені захватні пристрої 7, прожектор 5 та модульний блок 8 з вбудованою поворотною камерою 6.

Така компоновка забезпечує роботу апарата у різних конфігураціях, включаючи виконання складних маніпуляцій.

2.3 Візуалізація роботи

Згідно з технічним завданням, апарат повинен функціонувати у трьох конфігураціях, у яких сегменти робота:

- орієнтовані вздовж однієї осі для забезпечення максимального швидкісного пересування;
- сформовані у U-подібну траєкторію для переміщення вздовж об'єкту;
- складені у кубічну форму для огляду об'єктів та виконання ремонтних робіт.

На рисунку 2.3 представлена перша конфігурація робота, у якій його сегменти орієнтовані вздовж однієї осі.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

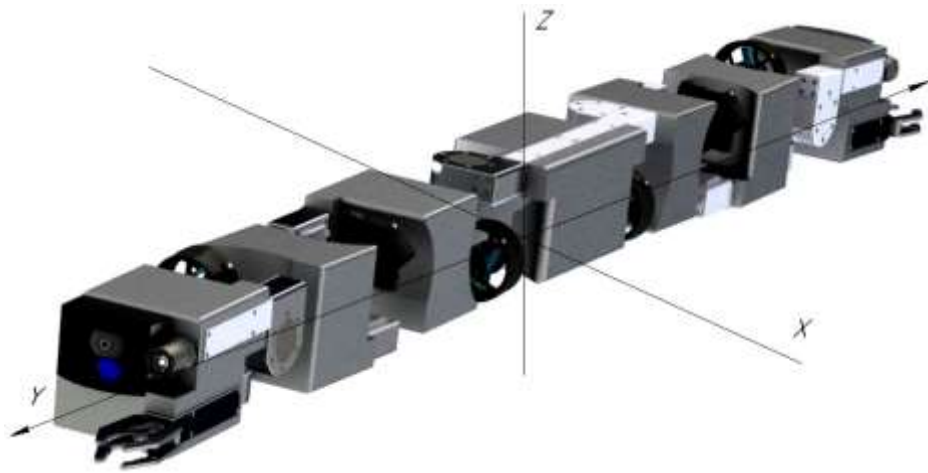


Рисунок 2.3 – Перша конфігурація робота

У цій конфігурації апарат може рухатись вздовж однієї осі, використовуючи два крайніх і середніх рушіїв. Такий спосіб пересування є більш швидким завдяки обтічній формі та одночасній роботі чотирьох рушіїв. У цій конфігурації камери та прожектори спрямовані вперед по траєкторії руху, що дозволяє виявляти перешкоди перед апаратом та візуально контролювати маршрут.

Досягнувши об'єкту, робот переходить у U-подібну форму (рис. 2.4) та починає рух уздовж об'єкту.

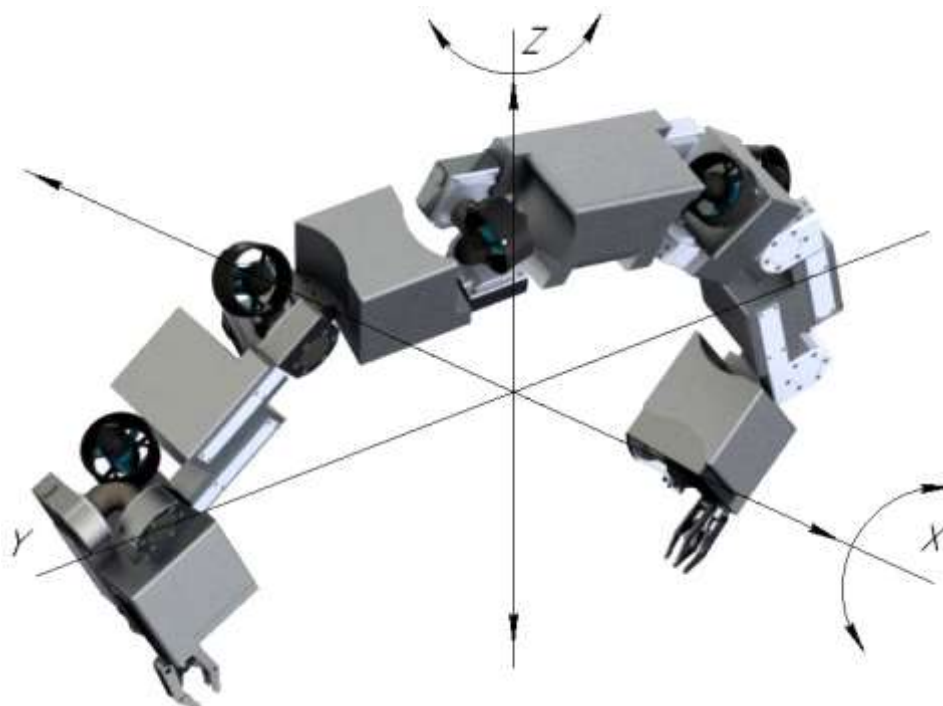


Рисунок 2.4 – Друга конфігурація робота

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

У даній конфігурації робот може переміщуватися вздовж двох осей, а також виконувати крен та розвороти. Цього достатньо для пересування вздовж об'єкту та здійснення маневрів. Камера центрального блоку орієнтована вертикально вниз, тоді як камери, розташовані на крайніх сегментах робота, спрямовані з боків об'єкту. Обидва прожектори спрямовані на трубопровід, забезпечуючи його освітлення. Завдяки цьому можливо здійснити огляд усієї надводної поверхні об'єкту діаметр якого не більше 800 мм.

За потреби використання захватів робот переходить у кубічну конфігурацію (рис. 2.5), набуваючи вигляду дворукого маніпулятора.

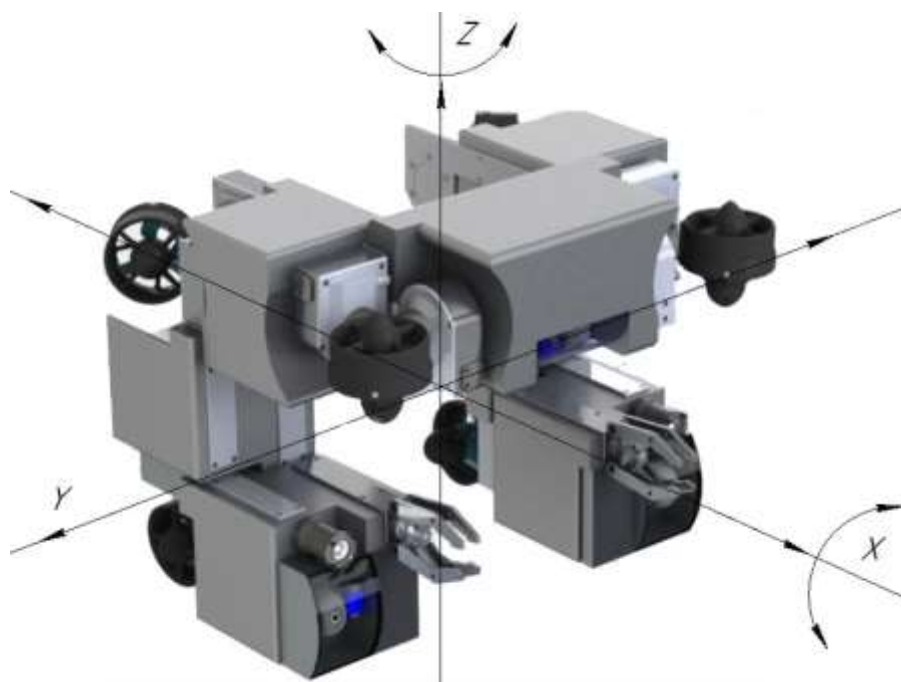


Рисунок 2.5 – Третя конфігурація робота

У цій конфігурації робот здатен пересуватися вздовж двох осей, а також виконувати крен і розвороти. Цього функціоналу достатньо для руху уздовж об'єкту та здійснення поворотів. Камера, розташована в центральному блоці, спрямована вертикально вниз, тоді як камери на крайніх блоках орієнтовані по боках об'єкту. Обидва прожектори спрямовані безпосередньо на трубопровід, забезпечуючи його освітлення. Таким чином, можливо здійснювати повний огляд надводної поверхні об'єкту за умови, що його розмір до 800 мм.

Ця конфігурація робота є найбільш маневровою, оскільки апарат здатен здійснювати переміщення по трьох осях, а також виконувати крен і розвороти.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Центральна камера забезпечує контроль над обстановкою попереду, а камери на кінцевих сегментах сприяють ефективному застосуванню захватів.

Прожектори освітлюють область перед роботом. Для перекриття вентиля апарат приймає U-подібну конфігурацію, набуваючи форми дворукого маніпулятора: один захват фіксує робота на трубі (рис. 2.6), а другий здійснює поворот вентиля.



Рисунок 2.6– Апарат закриває кран

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА КІНЕМАТИКИ ТА СТРУКТУРИ ШАРНІРА

3.1 Варіанти схеми приводу

Шарнір робота приводиться в рух за допомогою двох ідентичних приводів. Розглянемо два варіанти схем приводу та оберемо найбільш відповідний для цієї задачі.

Принципова кінематична схема першого варіанту приводу шарніра показана на рисунку 3.1. Привід повороту шарніра 6 здійснюється мотор-редуктором 1 через циліндричну передачу 2, яка з'єднана з передачею гвинт-гайка 3. Гайка з'єднується з кареткою 4 ремінного приводу, яка забезпечує обертання колеса 5.

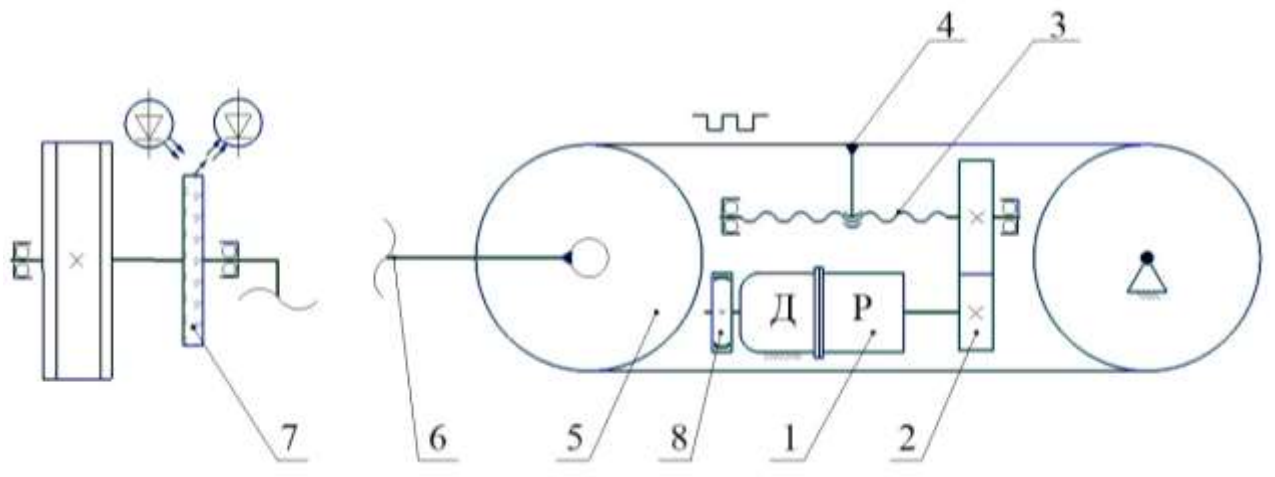


Рисунок 3.1 – Кінематична схема приводу шарніра

Обертання колеса приводить до повороту шарніра. Для управління швидкістю мотор-редуктора використовується датчик Холла 8, а абсолютний оптичний енкодер 7 контролює кутове положення шарніра.

Принципова кінематична схема другого варіанту приводу шарніра наведена на рисунку 3.2. Привід повороту шарніра 5 здійснюється мотор-редуктором 1, який через муфту 2 передає рух черв'ячній передачі 3. Обертання черв'ячного колеса 4 забезпечує поворот шарніра 5.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Повна кінематична схема шарніра робота з другим варіантом приводу наведена на рисунку 3.3.

Шарнір складається з двох однакових приводів, розташованих під кутом 90°. У кожному приводі шарніра встановлено мотор-редуктор, який через муфту з'єднаний із черв'яком. Черв'як, у свою чергу, з'єднаний із черв'ячним колесом, до якого за допомогою фланця прикріплений вал.

При фіксації корпусу нижнього приводу й подачі напруги на його мотор-редуктор починається обертання черв'яка, яке передається на черв'ячне колесо. Вал, прикріплений до черв'ячного колеса, починає обертатися, спричиняючи поворот верхнього приводу навколо вертикальної осі. Кут повороту контролюється системою абсолютного енкодера. Якщо подати напругу на мотор-редуктор верхнього приводу, то обертання передаватиметься через черв'ячну передачу на вал, що забезпечує обертання верхнього приводу в площині рисунка. Таким чином, цей шарнір забезпечує обертання навколо двох осей.

3.3 Опис структурно-функціональної схеми робота

Структурно-функціональна схема робота, яка демонструє систему управління та зв'язок між блоками робота, наведена на рисунку 3.4.

Від головного пульта управління через шину даних передаються сигнали управління до плат управління двигунами (ПУД), встановлених у кожному з семи блоків робота. На даній схемі зображені два крайніх блоки, які показують принцип управління захватами та шарнірами.

У кожному блоці робота розміщується блок батарей (ББ), який живить плату управління двигунами та датчики зворотного зв'язку (ДЗЗ). Шарнір приводиться в рух двигуном (Д) через механічну передачу (М-м).

Електромеханічний привід оснащений датчиком зворотного зв'язку, що забезпечує позиційне управління.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

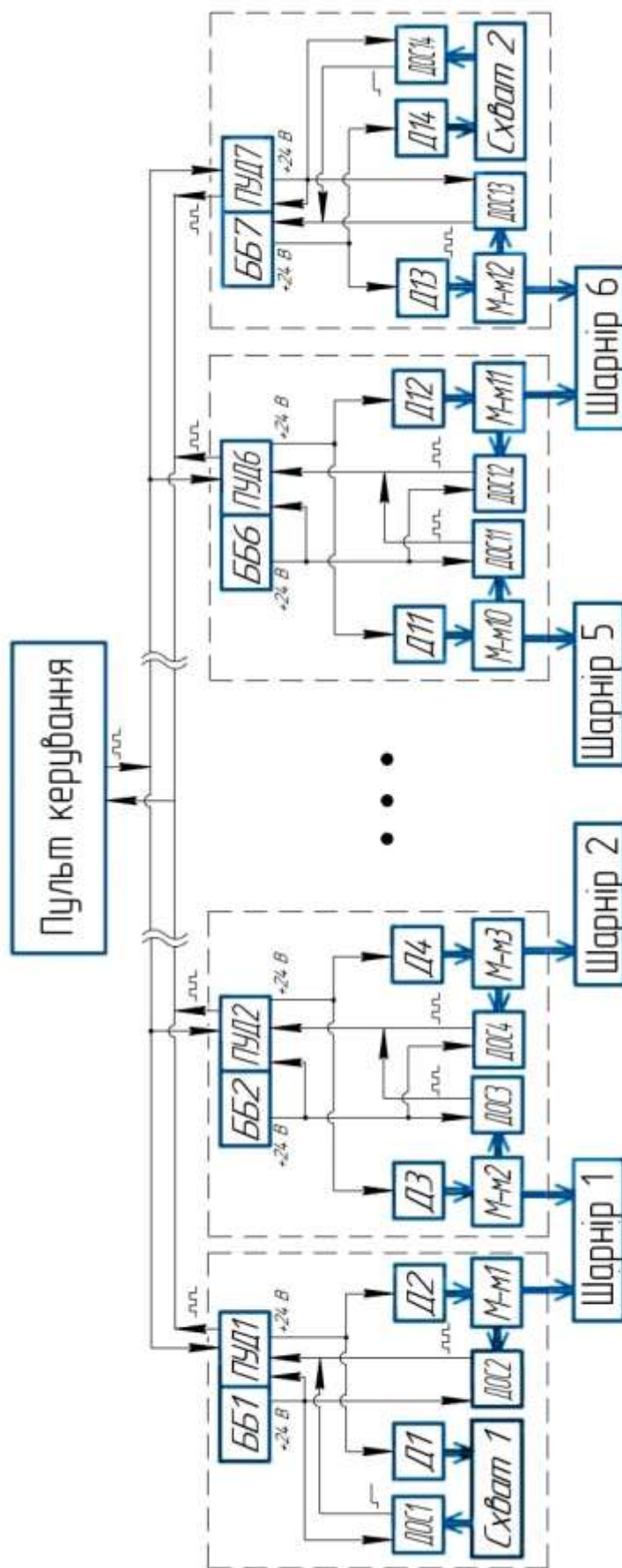


Рисунок 3.4 – Структурно-функціональна схема робота

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ ШАРНІРА

4.1 Опис конструкції шарніра

На основі кінематичної схеми, вихідних та розрахункових даних у програмному комплексі SolidWorks була створена 3D-модель шарніра (рис. 4.1) змеєподібного робота, а також розроблено складальний креслення, які наведені в додатках.

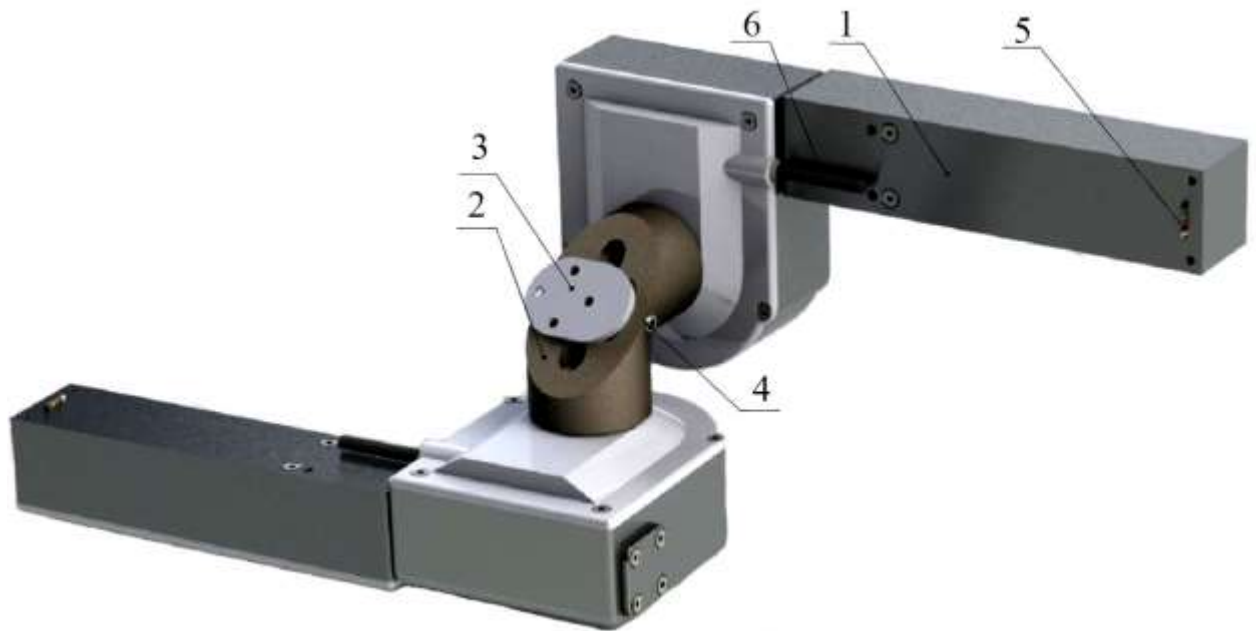


Рисунок 4.1 – 3D-модель шарніра

Шарнір складається із двох приводів 1, які з'єднані між собою під кутом 90° за допомогою центрального кріплення 2. Кожен шарнір може вільно обертатися на 90° в одному напрямку та на 40° в іншому. На центральному кріпленні встановлена платформа 3, призначена для монтажу підводного гвинтового рушія. Платформу можна обертати на будь-який кут і зафіксувати на місці установчим гвинтом 4.

З кожного приводу виходять кабелі від мотора зі вбудованим енкодером 5, а також від абсолютного датчика кутового положення 6, призначені для підключення до плати управління двигуном. Остаточні розміри шарніра становлять $383 \times 146 \times 146$ мм.

Опис конструкції приводу шарніра.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 4.2 зображено привід із знятою кришкою. Для зручності монтажу корпус приводу був розділений на дві частини. У першій частині розташований мотор-редуктор зі вбудованим енкодером 1, з'єднаний із муфтою 2.

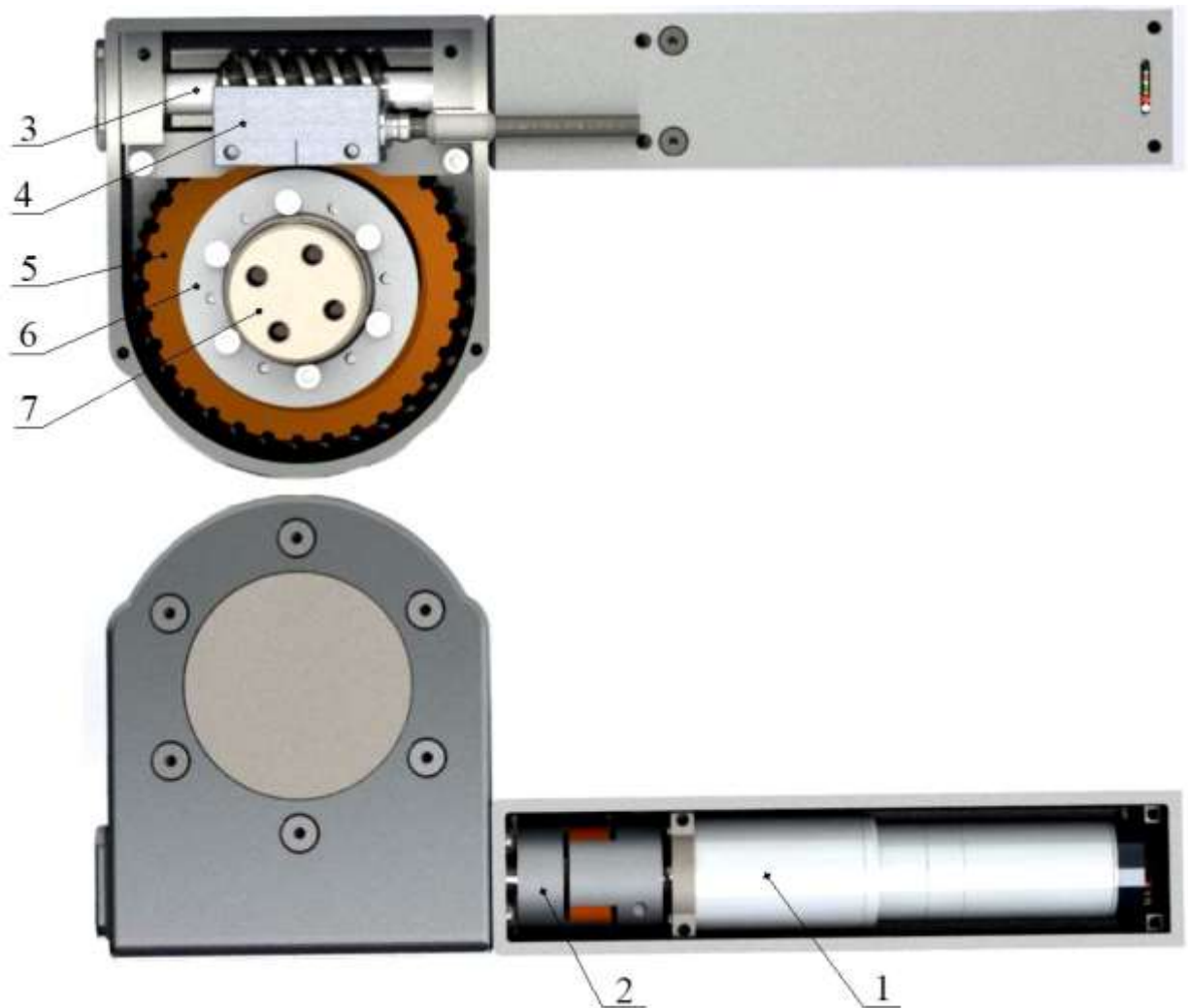


Рисунок 4.2 – 3D-модель приводу

У другій частині розташований черв'як 3, який через отвір у стінці з'єднується із муфтою. Черв'як передає обертання черв'ячному колесу 5, на якому за допомогою фланця закріплений вал 7. У конструкції також використовується абсолютна енкодерна система RESOLUTE, що складається із поворотного кільця 6, встановленого на валу, та зчитувальної головки 4.

Обидві частини корпусу з'єднуються чотирма гвинтами, а прилеглі поверхні герметизуються для забезпечення ізоляції. Герметик також наноситься на стики кришки та корпусу. Для додаткової ізоляції на валу передбачена канавка для ущільнювального кільця. Для з'єднання приводів із центральним

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

кріпленням на торці валу створено чотири глухих отвори з різьбою. У першій частині корпусу також передбачені чотири глухих отвори з різьбою для кріплення приводу до корпусу.

4.2. Вибір двигуна

Розрахунок необхідних характеристик

Шарнір робота включає два однакових приводи з ідентичними характеристиками. Кожен із приводів приводиться в рух мотор-редуктором. Розрахунок спрямований на визначення необхідних характеристик мотор-редуктора для коректної роботи шарніра робота.

При розрахунку не враховувалася кінематична похибка черв'ячної передачі, передбачаючи, що момент, прикладений до вихідної ланки, є постійним і максимальним. Розрахункова схема представлена на рисунку 4.3.

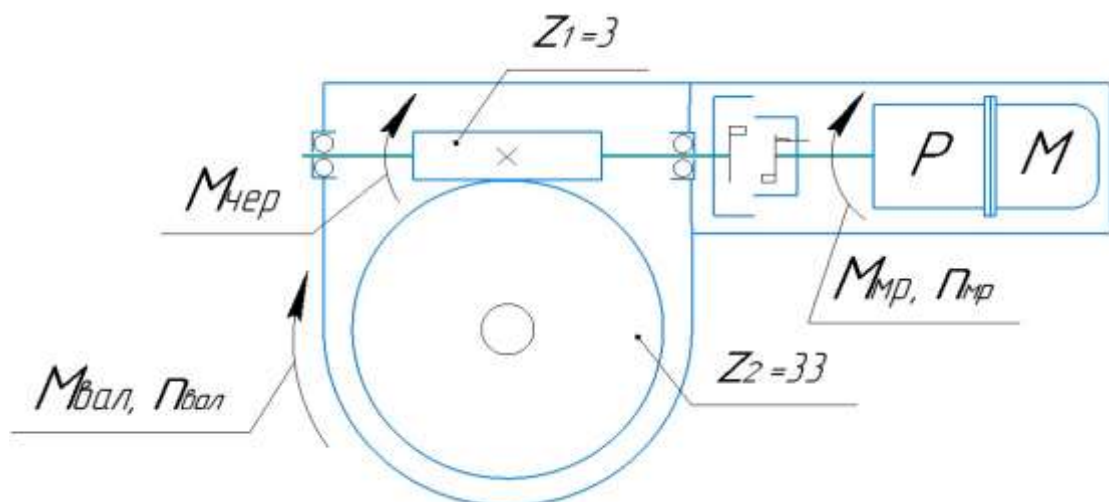


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема приводу

Відповідно до технічного завдання, шарнір робота має створювати момент у 50 Н·м і здійснювати обертання на 130° за 10 секунд. Визначимо необхідну частоту обертів на хвилину:

$$n_{вал} = \frac{130 \cdot 60}{10 \cdot 360} = 2,17 \text{ об/хв}$$

Вихідний вал шарніра з'єднаний через фланець із черв'ячним колесом, до якого момент передається від черв'яка.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 4.1 – Параметри черв'ячної передачі

Назва параметра	Символ	Значення
Кількість заходів черв'яка	Z_1	3
Кількість зубців черв'ячного колеса	Z_2	33
Модуль, мм	m	2
Передаточне число	$i_{чп}$	11
Коефіцієнт діаметра черв'яка	q	7,1
Кут підйому гвинтової лінії	γ	22°54'21"
Кут профілю початкового контуру	α_0	22°00'00"
Коефіцієнт зміщення черв'яка	x	+1

Необхідний момент на черв'яку, враховуючи втрати, розраховується за формулою:

$$M_{\text{чер}} = \frac{M_{\text{вал}}}{i_{\text{чп}} \cdot \eta_{\text{чп}} \cdot \eta_{\text{підш}}^2} = \frac{50}{11 \cdot 0,7 \cdot 0,99^2} = 6,63 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $M_{\text{вал}}$ – номінальний момент на валу,

$M_{\text{чер}}$ – момент на черв'яку,

$i_{\text{чп}}$ – передатне число черв'ячної передачі,

$\eta_{\text{чп}}$ – КПД черв'ячної передачі ($\eta_{\text{чп}} = 0,7$),

$\eta_{\text{підш}}$ – КПД підшипників ($\eta_{\text{підш}} = 0,99$).

Кількість обертів черв'яка, що дорівнює числу обертів мотор-редуктора, визначається формулою:

$$n_{\text{чер}} = n_{\text{др}} = n_{\text{вал}} \cdot i_{\text{чп}} = 2,17 \cdot 11 = 23,9 \text{ об/мин}$$

де $n_{\text{чер}}$ – номінальне число обертів черв'яка,

$n_{\text{др}}$ – номінальне число обертів двигуна-редуктора,

$n_{\text{вал}}$ – номінальне число обертів вихідного валу,

$i_{\text{чп}}$ – передаточне число черв'ячної передачі ($i_{\text{чп}} = 11$).

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Момент від двигуна-редуктора передається через муфту на черв'як. З урахуванням втрат розрахунок необхідного моменту на двигуні-редукторі проводиться за формулою:

$$M_{др} = \frac{M_{чер}}{\eta_{муф} \cdot \eta_{підш}^2} = \frac{6,63}{0,98 \cdot 0,99^2} = 6,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $M_{чер}$ – номінальний момент на черв'яку,

$M_{др}$ – номінальний момент двигуна-редуктора,

$\eta_{муф}$ – КПД муфти ($\eta_{муф} = 0,98$),

$\eta_{підш}$ – КПД підшипників ($\eta_{підш} = 0,99$).

Отримані характеристики приводу: момент $M_{др} = 6,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$ і частота обертання $n_{др} = 23,9 \text{ об/хв}$. Дані характеристики обрано з урахуванням максимально можливого навантаження.

Виходячи з розрахованих характеристик приводу, з каталогу було обрано оптимально відповідний двигун та редуктор компанії Махон. Характеристики двигуна та редуктора наведено у таблицях 4.2 та 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2. – Характеристики двигуна

Двигун	Розмір, мм	Момент, мН·м	Частота обертів, об/хв
ECX TORQUE 22 M	Ø22x43	28,6	13100

Таблиця 4.3 – Характеристики редуктора

Редуктор	Розмір, мм	Передаточне число	КПД
Planetary gearhead GPX 26 HP	Ø26x52,4	439:1	55%

Порівняємо необхідні характеристики приводу із характеристиками конфігурації мотор-редуктора B7B8C2443FAC.

4.3 Визначення допустимих контактних напружень

Допустимі контактні напруження для черв'ячних коліс із безолов'яних бронз визначаються на основі опору до заїдання без урахування кількості

циклів навантаження. Напруження для матеріалу вінця черв'ячного колеса обчислюються за формулою:

$$[\sigma_H] = \sigma_{Hlim} \cdot C_v \cdot Z_N, \text{ МПа}$$

де σ_{Hlim} – границя контактної витривалості зубців колеса при базовій кількості циклів навантаження $N_{Ho} = 10^7$,

C_v – коефіцієнт, що враховує інтенсивність зносу матеріалу колеса (для безолов'яних бронз $C_v = 1$),

Z_N – коефіцієнт довговічності, що враховує термін служби та режим навантаження передачі (для безолов'яних бронз $Z_N = 1$).

Для безолов'яних бронз при твердості поверхні витків черв'яка більше 45 HRC значення σ_{Hlim} обчислюють за формулою:

$$\sigma_{Hlim} = 300 - 25 \cdot v_s = 300 - 25 \cdot 0,024 = 299,4 \text{ МПа}$$

де v_s – швидкість ковзання витків черв'яка по зубцях колеса ($v_s = 0,024$ м/с).

Підставивши отримані значення у формулу, знайдемо допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_H] = \sigma_{Hlim} \cdot C_v \cdot Z_N = 299,4 \cdot 1 \cdot 1 = 299,4 \text{ МПа}$$

4.4 Визначення допустимих напружень на згин

Допустимі напруження на згин зубців черв'ячного колеса при тривалій роботі визначаються за формулою:

$$[\sigma_F] = \sigma_{Flim} \cdot Y_N, \text{ МПа}$$

де σ_{Flim} – границя витривалості зубців при згині, що відповідає базовій кількості циклів навантаження $N_{Fo} = 10^6$,

Y_N – коефіцієнт довговічності для розрахунку зубців на згин (для короткочасно працюючих черв'ячних передач $Y_N = 1$).

Для реверсивних передач значення σ_{Flim} обчислюють за формулою:

$$\sigma_{Flim} = 0,16 \cdot \sigma_B = 0,16 \cdot 600 = 96 \text{ МПа}$$

де σ_B – границя міцності матеріалу.

Підставивши отримані значення у формулу, визначимо допустимі напруження на згин:

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$[\sigma_F] = \sigma_{Flim} \cdot Y_N = 96 \cdot 1 = 96 \text{ МПа}$$

4.5 Перевірочний розрахунок передачі на контактну міцність

Після визначення допустимих контактних напружень і напружень на згин, необхідно розрахувати напруження, які виникають при дії максимально можливої навантаження. Цей розрахунок виконують для постійного навантаження в 50 Н·м, що діє на черв'ячне колесо. Робочі контактні напруження обчислюються за формулою:

$$\sigma_H = Z_0 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot F_{t2}}{d_2 \cdot d_{w1}}} \leq [\sigma_H]$$

де $Z_0 = 275$ – для передач з увігнутим профілем витків черв'яка (ZT), МПа^{1/2},

K – коефіцієнт навантаження,

F_{t2} – окружна сила на черв'ячному колесі, Н,

d_2 – подільний діаметр черв'ячного колеса, мм,

d_{w1} – початковий діаметр черв'яка, мм,

$[\sigma_H]$ – допустимі контактні напруження, МПа.

Для використання формули необхідно визначити колову силу на колесі та коефіцієнт навантаження. Окружну силу визначають за формулою:

$$F_{t2} = \frac{2000 \cdot T_2}{d_2} = \frac{2000 \cdot 50}{66} = 1515.2 \text{ Н}$$

де T_2 – момент на черв'ячному колесі ($T_2 = 50 \text{ Н·м}$),

d_2 – діаметр черв'ячного колеса ($d_2 = 66 \text{ мм}$).

Коефіцієнт навантаження для черв'ячних передач обчислюється за формулою:

$$K = K_\beta \cdot K_v$$

де K_β – коефіцієнт концентрації навантаження за довжиною зуба колеса,

K_v – коефіцієнт динамічного навантаження в зачепленні.

За умови постійного режиму навантаження та гарної приработки матеріалу вінця черв'ячного колеса, приймаємо $K_\beta = 1$.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт динамічного навантаження K_v визначається в залежності від ступеня точності передачі та швидкості ковзання. Для передач 7-го ступеня точності і швидкості ковзання менш ніж 1,5 м/с вибираємо $K_v = 1$.

Підставивши значення в формулу, розрахуємо коефіцієнт навантаження:

$$K = K_\beta \cdot K_v = 1 \cdot 1 = 1$$

Розрахуємо контактні напруження за формулою:

$$\sigma_H = Z_0 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot F_{t2}}{d_2 \cdot d_{w1}}} = 275 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 1515,2}{66 \cdot 18,2}} = 308,8 \text{ МПа} \geq [\sigma_H] = 299,4 \text{ МПа}$$

Отримані розрахункові напруження перевищують допустимі, що свідчить про роботу передачі із перевантаженням. Допустиме перевантаження не повинно перевищувати 5%. Відхилення розрахункових напружень від допустимих визначають за формулою:

$$\Delta\sigma_H = \frac{\sigma_H - [\sigma_H]}{[\sigma_H]} \cdot 100 = \frac{308,8 - 299,4}{299,4} \cdot 100 = 3\%$$

В результаті перевірочний розрахунок передачі на контактну міцність пройдено. Передача працює із допустимим перевантаженням в 3%.

4.6 Перевірочний розрахунок зубців колеса на витривалість при згині

Розрахуємо робочі напруження на згин за формулою:

$$\sigma_F = \frac{0,7 \cdot F_{t2} \cdot K}{b_2 \cdot m \cdot \cos \gamma_w} \cdot Y_{F2} \leq [\sigma_F]$$

де F_{t2} – окружна сила на колесі, Н,

K – коефіцієнт навантаження,

b_2 – ширина вінця колеса, мм,

m – модуль передачі, мм,

γ_w – початковий кут підйому витка черв'яка, град.,

Y_{F2} – коефіцієнт форми зуба черв'ячного колеса,

$[\sigma_F]$ – допустимі напруження на згин для зубців колеса, МПа.

Коефіцієнт форми зуба Y_{F2} визначають за формулами:

$$Y_{F2} = 2,40 - 0,0214 \cdot Z_{v2} \text{ при } Z_{v2} < 37;$$

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$Y_{F2} = 2,21 - 0,0162 \cdot Z_{v2} \text{ при } Z_{v2} = 37 - 45;$$

$$Y_{F2} = 1,72 - 0,0053 \cdot Z_{v2} \text{ при } Z_{v2} > 45;$$

де Z_{v2} – еквівалентна кількість зубців колеса.

Визначивши Z_{v2} , обчислюємо Y_{F2} :

$$Z_{v2} = \frac{Z_2}{\cos \gamma_w^3} = \frac{33}{\cos(18^\circ 14' 45'')^3} = 38,4$$

$$Y_{F2} = 2,21 - 0,0162 \cdot Z_{v2} = 2,21 - 0,0162 \cdot 38,4 = 1,59$$

Підставивши всі необхідні значення у формулу, знаходимо робочі напруження на згин.

$$\sigma_F = \frac{0,7 \cdot F_{t2} \cdot K}{b_2 \cdot m \cdot \cos \gamma_w} \cdot Y_{F2} = \frac{0,7 \cdot 1515,2 \cdot 1}{10 \cdot 2 \cdot \cos(18^\circ 14' 45'')} \cdot 1,59 = 88,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_F = 88,7 \text{ МПа} \leq [\sigma_F] = 96 \text{ МПа}$$

Перевірочний розрахунок зубців колеса на витривалість при згині пройдено успішно. Передача витримує задане навантаження.

4.7 Розрахунок характеристик приводу шарніра

Раніше в роботі було обрано мотор-редуктор і визначено коефіцієнт корисної дії (ККД) черв'ячної передачі. Необхідно виконати зворотний розрахунок приводу шарніра для визначення його фактичних характеристик. У розрахунку не враховується кінематична похибка черв'ячної передачі та передбачається, що момент, який видає мотор-редуктор, є постійним і максимальним. Розрахункова схема, представлена на рисунку 4.4, є аналогічною схемі для вибору двигуна, але тут розрахунок починається з мотор-редуктора.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

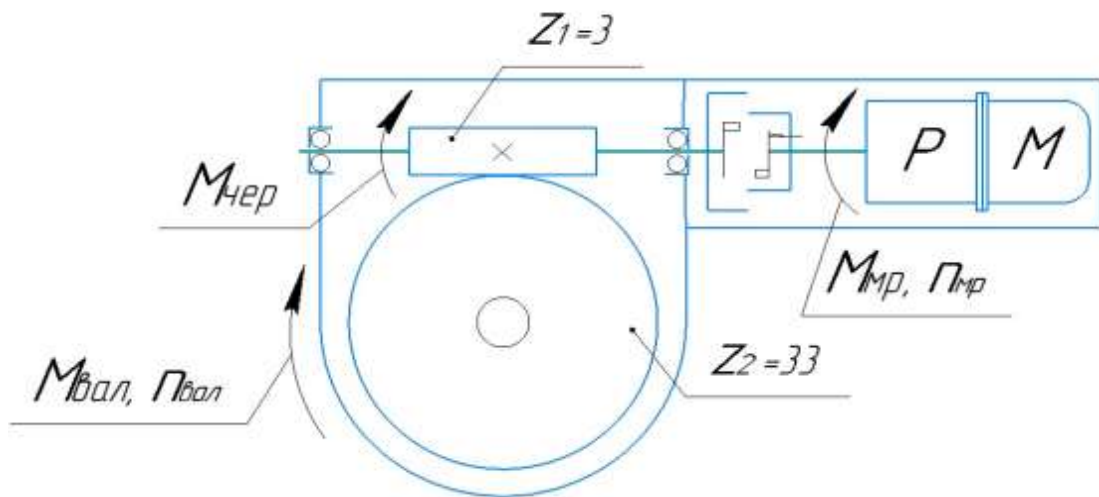


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема приводу

Момент від мотор-редуктора передається через муфту на черв'як. У таблиці 4.3 наведено характеристики обраного мотор-редуктора.

Розрахуємо момент на черв'яку за формулою:

$$M_{\text{чер}} = M_{\text{мр}} \cdot \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{підш}}^2 = 6,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99^2 = 6,63 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $M_{\text{чер}}$ – номінальний момент на черв'яку,

$M_{\text{мр}}$ – номінальний момент мотор-редуктора,

$\eta_{\text{муф}}$ – ККД муфти ($\eta_{\text{муф}} = 0,98$),

$\eta_{\text{підш}}$ – ККД підшипників ($\eta_{\text{підш}} = 0,99$).

Вихідний вал шарніра з'єднаний через фланець із черв'ячним колесом, до якого момент передається від черв'яка. Момент на валу, що дорівнює моменту на черв'ячному колесі, можна розрахувати за формулою:

$$M_{\text{вал}} = M_{\text{чер}} \cdot i_{\text{чп}} \cdot \eta_{\text{чп}} = 6,63 \cdot 11 \cdot 0,8 = 58,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $M_{\text{вал}}$ – номінальний момент на валу,

$M_{\text{чер}}$ – номінальний момент на черв'яку,

$i_{\text{чп}}$ – передаточне число черв'ячної передачі,

$\eta_{\text{чп}}$ – загальний ККД черв'ячної передачі ($\eta_{\text{чп}} = 0,8$).

Число обертів вала, яке дорівнює числу обертів черв'ячного колеса, можна розрахувати за формулою:

$$n_{\text{вал}} = \frac{n_{\text{чер}}}{i_{\text{чп}}} = \frac{24}{11} = 2,2 \text{ об/хв}$$

де $n_{\text{чер}}$ – номінальне число обертів черв'яка,

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$n_{\text{вал}}$ – номінальне число обертів вихідного валу,

$i_{\text{чп}}$ – передаточне число черв'ячної передачі ($i_{\text{чп}} = 11$).

Знаючи число обертів валу, можна обчислити час, необхідний для повороту валу на 130° .

Розрахунки показали, що привід шарніра може розвивати момент до $58,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$, проте існують обмеження щодо міцності черв'ячного колеса. Максимальний момент, який видає привід шарніра, необхідно обмежити програмно, регулюючи максимальний струм, що подається на мотор-редуктор. Також розрахунки показали, що шарнір може здійснити поворот на 130° менш ніж за 10 секунд.

4.8 Розрахунок зусилля та моменту, що створюються маніпулятором

Як зазначалося вище, апарат за потреби здатен перекидати вентиль. Припустимо, що робот одним захватом надійно утримується за трубу, а другим захватом повертає вентиль. Цей розрахунок спрямований на визначення максимального зусилля, яке може створити шарнір робота. У розрахунках передбачається, що всі ланки робота нерухомі, сам робот повністю зафіксований, а зусилля створюється виключно крайнім приводом.

При цьому момент шарніра вважається постійним і максимальним. Розрахункова схема для визначення максимального зусилля та моменту маніпулятора представлена на рисунку 4.5.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

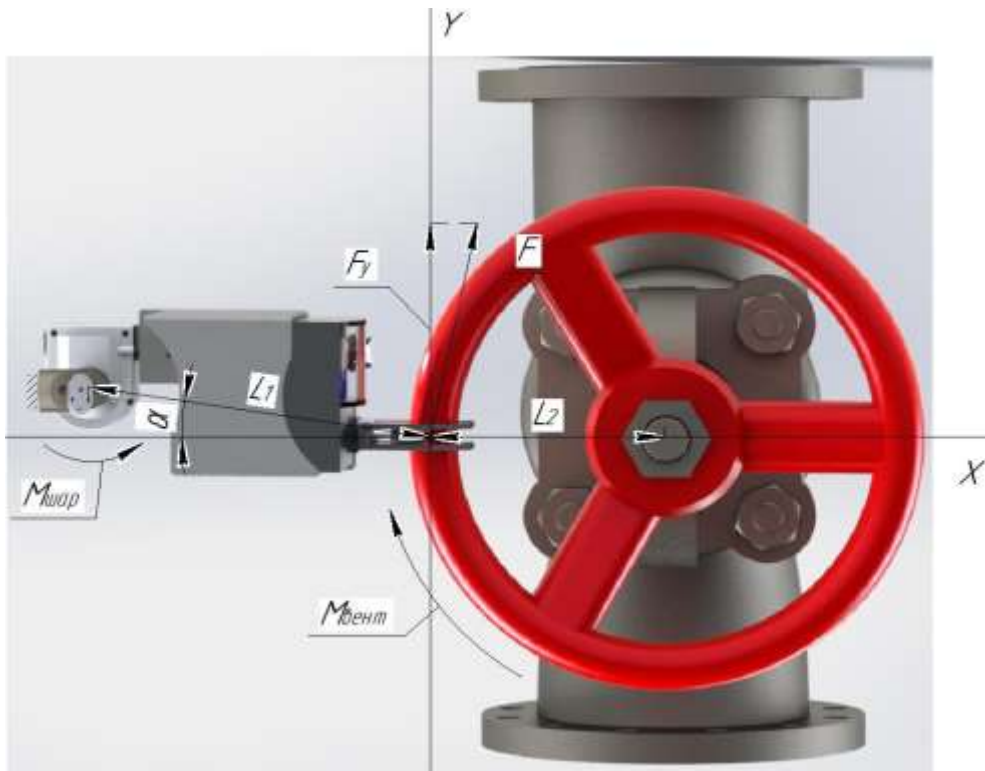


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема

Вихідні дані: $M_{\text{шар}} = 50 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – момент, що створюється шарніром,

$L_1 = 301 \text{ мм}$ – плече сили F ,

$L_2 = 220 \text{ мм}$ – радіус вентилля,

$\alpha = 6,6^\circ$ – кут.

Шарнір при обертанні створює момент $M_{\text{шар}}$. Розрахуємо силу F , яку захват маніпулятора може прикласти до вентилля, за формулою:

$$F = M_{\text{шар}}/L_1 = 50 / 0,301 = 166,1 \text{ Н}$$

Зусилля, прикладене до вентилля, створює оберտальний момент $M_{\text{вент}}$, який визначається за формулою:

$$M_{\text{вент}} = F_y \cdot L_2 = F \cdot \cos(\alpha) \cdot L_2 = 166,1 \cdot \cos(6,6^\circ) \cdot 0,22 = 36,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Робот, утримуючись одним захватом за трубу та іншим за вентиль, може створити зусилля. При прикладенні цього зусилля до вентилля утворюється оберտальний момент.

Розрахунки показали, що маніпулятор здатен створити оберտальний момент на вентилі до $36,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (за діаметра вентилля 440 мм), чого достатньо для його повороту та перекриття об'єкту.

					<i>032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз виробництва, безпеки праці та навколишнього середовища
Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при роботі.

Ця робота присвячена проектуванню двовісного шарніра для плавучого змієподібного робота та здійснювалася за персональним комп'ютером.

Основними небезпечними факторами є:

- пожежонебезпека;
- небезпека враженням електричним струмом;
- відсутність або недостатність природного освітлення;
- високе зорове навантаження;
- мікроклімат.

Розміри приміщення, де встановлений комп'ютер та супутня оргтехніка: площа 20 кв.м., а його об'єм визначається за формулою $V = S \cdot h = 20 \cdot 2,7 = 54 \text{ м}^3$. У приміщенні забезпечено відповідні показники температурного режиму та чистоти повітря.

Згідно із санітарними нормами, площа робочого місця з ПК для дорослих користувачів має бути не меншою за 6,0 м², а об'єм – не менш ніж 20 м³. Таким чином, параметри приміщення повністю відповідають встановленим санітарним вимогам.

Для оздоблення стін, стелі та підлоги приміщень, де розташовані ПК, необхідно використовувати матеріали, затверджені органами санітарно-епідеміологічного нагляду. Внутрішнє оздоблення інтер'єру має виконуватися з матеріалів, що забезпечують дифузне відбиття, з такими коефіцієнтами віддзеркалення: для стелі – 0,7-0,8; для стін – 0,5-0,6; для підлоги – 0,3-0,5.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

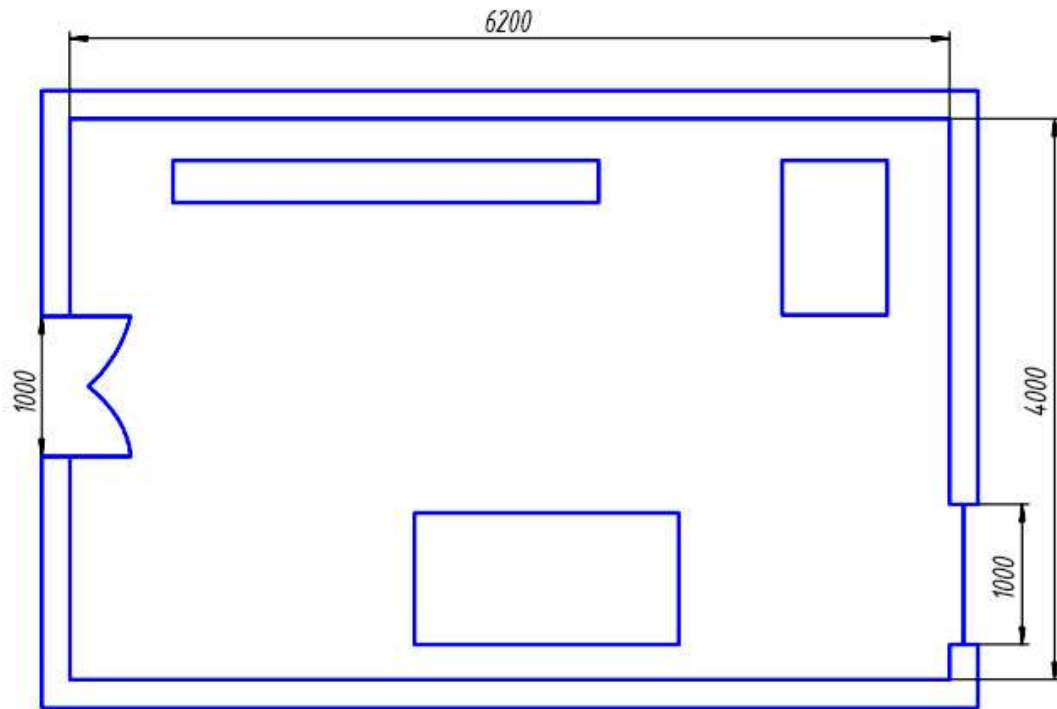


Рисунок 5.1 – Розміри приміщення

5.2 Мікроклімат

У цьому приміщенні основний вид діяльності пов'язаний із використанням монітора та персонального комп'ютера, тому воно оснащено системами, що забезпечують оптимальні параметри мікроклімату.

Для підтримання необхідних умов мікроклімату застосовується система вентиляції та регулярне провітрювання. Вентиляція забезпечує видалення нагрітого або забрудненого повітря та надходження свіжого зовнішнього повітря.

Ключові параметри мікроклімату, такі як температура, рівень вологості та швидкість руху повітря на робочому місці, повинні відповідати встановленим нормам. Крім того, важливо забезпечити оптимальне співвідношення позитивних і негативних іонів у повітрі робочої зони.

Наукові дослідження свідчать, що надмірна концентрація позитивних іонів може негативно впливати на когнітивну та фізичну працездатність, викликаючи втому, а також на функціонування серцево-судинної та кровотворної систем. Водночас негативні іони сприятливо впливають на стан здоров'я людини.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Таблиця 5.1– Основні параметри мікроклімату

Період року	Температура, °С			Відносна вологість, %	
	Оптимальна	Фактична		Оптимальна	Дійсна
		Max	Min		
Холодний	21 - 24	24	21	40 - 60	55
Теплий	23 - 28	28	24	40 - 60	43

У теплий період року середня температура приміщення становить 25 °С, а відносна вологість повітря – 44%. У холодний період року ці показники змінюються відповідно до 23 °С та 55%.

Усі параметри мікроклімату як у теплий, так і в холодний сезон знаходяться в межах оптимальних значень, що свідчить про комфортні умови для роботи в приміщенні.

5.3 Освітлення

Недостатнє освітлення спричиняє напруження зору, знижує концентрацію уваги та сприяє швидкому виникненню втоми. Надмірно яскраве світло, навпаки, може викликати засліплення, подразнення та різь в очах. Неправильне розташування джерел світла на робочому місці створює тіні та відблиски, що може дезорієнтувати працівника.

Ці фактори здатні призвести до нещасних випадків або професійних захворювань, тому правильний розрахунок освітлення, вибір оптимальної кількості світильників, їх типу та розташування є критично важливими.

Штучне освітлення в приміщеннях, де використовуються ПК, має забезпечувати рівномірний загальний світловий потік. Якщо робота переважно пов'язана з документами, до загального освітлення слід додавати місцеві світильники, що призначені для освітлення робочої зони.

Рівень освітленості на поверхні столу в зоні розташування документа має становити 300–500 лк. Освітлення не повинне створювати відблисків на поверхні екрана, а яскравість самого екрана не повинна перевищувати 300 лк.

Для штучного освітлення рекомендовано використовувати люмінесцентні лампи типу ЛБ та компактні люмінесцентні лампи, а у місцевих світильниках допускається застосування ламп розжарювання, зокрема галогенних.

У приміщенні передбачене комбіноване штучне освітлення (загальне та місцеве) разом із природним бічним освітленням. Штучне освітлення здійснюється електричними джерелами світла—лампами розжарювання. Виходячи з цього, можна виконати розрахунок освітленості для даного приміщення.

Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 26 м², шириною 4,5 м та висотою 2,7 м. Для цього використовується метод світлового потоку, що дозволяє визначити необхідний світловий потік у приміщенні та порівняти його із допустимими параметрами згідно з відповідною формулою:

$$E_{\text{еф}} = \frac{F_{\text{л}} \cdot N \cdot n \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z}$$

де $E_{\text{еф}}$ –світловий потік, Лк;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк.

Роботу інженера, відповідно таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде $E = 300\text{лк}$;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку $S = 20\text{м}^2$);

z – відношення середньої освітленості до мінімальної (звичайно приймається рівним 1,1 ... 1,2, нехай $Z = 1,1$);

Коефіцієнт запасу (k_3) враховує зменшення світлового потоку лампи через забруднення світильників під час експлуатації. Його значення залежить від типу приміщення та характеру роботи, а у нашому випадку становить ($K = 1,5$).

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у кожному світильнику;

η – коефіцієнт використання, що визначається як відношення світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Його значення залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення та кольору оздоблення.

Коефіцієнти відбиття поверхонь: Стеля свіжопобілена: ($\rho_{ст} = 70\%$);

Стіни світло-сірі: ($P_{ст} = 50\%$);

Підлога паркетна: ($\rho_{п} = 30\%$).

Значення η визначається за таблицею коефіцієнтів використання світильників. Для цього спочатку розраховуємо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(a + b)} = \frac{20}{2.7(4 + 7.5)} = 0.64$$

де S – площа приміщення, h – висота, a та b – ширина та довжина відповідно.

Розрахунок цього показника дозволяє визначити ефективність світлового потоку у приміщенні.

Отже, знаючи індекс приміщення I , за таблицею знаходимо $\eta = 0,35$.

Для освітлення використовується люмінесцентні лампи типу Lights Led, світловий потік яких $F = 3700\text{Лк}$.

Підставимо вказані значення для визначення світлового потоку:

$$E_{еф} = \frac{3700 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 0,38}{20 \cdot 1,5 \cdot 1} = 337,4\text{лк}$$

Отже, освітленість приміщення не достатня, саме тому використовується, ще штучне освітлення, а саме освітленість екрану відповідає нормам.

5.4 Електробезпека

Електробезпека – це комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на захист людей від небезпечного впливу електричного струму, електромагнітного поля, електричної дуги та статичної електрики.

У приміщенні працюють та обслуговуються два персональні комп'ютери. В доступному місці встановлено аварійний резервний вимикач та електричний щит із запобіжником, який може повністю відключити живлення

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщення, окрім освітлення. Заземлення електричного щита виконано із заземленою шиною, а розетки лабораторії мають захисне занулення.

Кожен ПК у приміщенні підключений через розетку з окремим запобіжником, що запобігає перенавантаженню електромережі. Для живлення переносних електроприладів використовуються гнучкі проводи з надійною ізоляцією та додатковим запобіжником. Електропроводка від переносних пристроїв до джерел живлення прокладається найкоротшим шляхом, щоб уникнути заплутування проводів навколо меблів та приладів.

Приміщення повністю відповідає нормам електробезпеки згідно з ПУЕ 2021 і є безпечним для роботи [9].

5.5 Пожежна безпека

Приміщення, в яких розміщені персональні комп'ютери, класифікуються як пожежонебезпечні за категорією В. Вони повинні відповідати вимогам щодо запобігання та ліквідації пожеж, а також бути оснащеними телефонним зв'язком і пожежною сигналізацією.

У лабораторії використовується меблі з МДФ, дверні та віконні конструкції виконані з металопластику, а корпуси комп'ютерів і обладнання — з металу та полімерних матеріалів. За критеріями вибухо- і пожежонебезпечки приміщення також належить до категорії В.

Відповідно до ДБН В.2.2-9:2018, будівля має II ступінь вогнестійкості, що передбачає відповідність будівельних конструкцій нормам вогнестійкості:

- несучі стіни, стіни сходових кліток і колони – 2 години
- сходові клітки, сходи, балки і марші в сходових клітках – 1 година
- зовнішні стіни навісних панелей – 0,25 години
- внутрішні та зовнішні перегородки – 0,25 години
- плити і настили міжповерхових перекриттів – 0,75 години
- плити, настили та інші несучі конструкції — 0,25 години

Час, необхідний для евакуації, становить 40 секунд. Евакуація має бути проведена оперативно, організовано та без паніки.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення пожежної безпеки приміщення рекомендовано використовувати вуглекислотні вогнегасники ВВК-1,4 (ОУ 2) у кількості 4 одиниць.

— .

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

У цій роботі було розроблено змієподібний підводний робот для обслуговування підводних об'єктів. Було створено шарнір робота, який забезпечує обертання у двох осях на кут до 130° . Для приводу обрано двигун, що дозволяє шарніру розвивати момент до $50 \text{ Н}\cdot\text{м}$ при часу повороту не більше 10 секунд. Також було створено тривимірну модель робота, яка демонструє його роботу у трьох конфігураціях:

- всі сегменти орієнтовані вздовж однієї осі;
- сегменти утворюють U-подібну конфігурацію;
- сегменти складаються у кубічну форму.

За заданими розмірами робот може обслуговувати підводні об'єкти діаметром до 800 мм. Водночас максимально можливий діаметр об'єкту може становити до 1300 мм. На основі цього рекомендується збільшити довжину модульних блоків, щоб відповідно збільшити загальну довжину робота.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Foreign Spies Target Underwater Drone Fleet, Military Spooks Say. ABC News. 27 жовтня 2011. <https://abcnews.go.com/Blotter/underwater-drone-tech-target-espionage-military-spooks/story?id=14826316>
2. He, Ying; Wang, Dao Bo; Ali, Zain Anwar . A review of different designs and control models of remotely operated underwater vehicle. Measurement and Control 53 (9–10): 1561–1570. doi:10.1177/0020294020952483.
3. Autonomous Underwater Vehicles | AUV Technology | Underwater Gliders. Unmanned Systems Technology <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/autonomous-underwater-vehicles-auv/>
4. Autonomous Underwater Vehicle - an overview | ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/autonomous-underwater-vehicle>.
5. ПУЕ 2021 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://enext.ua/uk/press/articles/PUE-2021-Razdel-pervyy-Pravila-ustroystvaelektroustanovok/>
6. Підводні Апарати R7 з Дистанційним Управлінням [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sundries.com.ua/belhiia-peredastukraini-pidvodni-aparaty-r7-z-dystantsiinym-upravlinniam/>.
7. Підводний дрон Chasing M2 Combo [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://elitecopter.com.ua/podvodnyj-dron-chasing-m2-combo>
8. Підводний апарат “SeaFox” [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://invoen.ru/vvt/neobitaemye-podvodnyie-apparaty/>.
9. Дистанційно керований підводний апарат Lynx [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.demetra5.kiev.ua/ru/catalog/seaeye/lynx>.
10. Мікродвигун [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod3478-mikromotor-s-redyktorom-6v-300-rpm>

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

11. ДБН В.2.2-9:2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://dbn.co.ua/publ/konstruktivni_kharakteristiki_vid_stupenja_vognestijkosti/161-0-550.
12. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів / М.В.Якимчук, О.М.Гавва, А.П.Беспалько та ін. / За ред. О.М.Гавви. – К.: Сталь, 2017. – 515 с.
13. Безпека життєдіяльності та цивільний захист [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей з природничих, соціально-гуманітарних наук та інженерно-комунікаційних технологій / О. Г. Левченко, О. В. Землянська, Н. А. Праховнік, В. В. Зацарний; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 267 с.
14. Винокурова Л.Е. Основи охорони праці - К.: Вікторія, 2002, 192с.

					032.Б-25.00.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ДОДАТКИ