

УДК 629.58

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2024.4\(497\).10](https://doi.org/10.15589/znп2024.4(497).10)

DEVELOPMENT OF A MOBILE LIFTING DEVICE FOR AN UNDERWATER VEHICLE

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО СПУСКО-ПІДЙОМНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПІДВОДНОГО АПАРАТА

Andrii M. Voitasyk

andrii.voitasyk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9409-6108

А. М. Войтасик,

канд. техн. наук, доцент

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

Abstract. *Purpose.* Development and design of an electric drive mobile lifting device (LFD) for an underwater vehicle (UV), which is able to implement safe lifting operations when using working samples of underwater equipment weighing up to 500 kg. *Method.* As part of the research, the complex modeling method was used to build 3D models of the design of the electric drive mechanisms for the movement of the gripping device, lowering/raising the load, moving the cargo cart and all the executive equipment that is proposed to be used in its composition; the method of empirical description of technological processes for substantiating and explaining the peculiarities of the organization of torque transmission and ensuring the necessary class of protection of electric drive mechanisms. *Results.* Based on the use of four executive asynchronous electric motors with a phase rotor equipped with gear mechanisms, an energy and control unit, accompanying electrical equipment and the proposed 3D model of the structure, an electric drive of a mobile LFD for UV was developed for the purpose of further operation of the product during various marine underwater technical works involving tethered underwater equipment. The functioning of the product is ensured by the use of a relay-contactor control scheme with the connection of a remote button post, which allows the electric drive mechanisms of the mobile LFD to be set in motion by the operator's commands. *Scientific novelty.* Carrying out lifting operations with the use of tethered UV weighing up to 500 kg is proposed to be implemented with the use of a mobile LFD. The product includes a set of necessary electrical equipment combined with a control and energy unit, which is used to control electric drive mechanisms, which allows for smooth and reliable descent and ascent of underwater equipment with a fixed operating speed of the mechanisms of 0,25 m/s. The technical solutions adopted during the development of the 3D model of the product design led to the creation of a mobile device that increases the efficiency and guarantees the safety of lifting operations, and also makes it possible to increase the convenience of using tethered UV from the carrier vessel board. *Practical importance.* The developed mobile LFD is designed to improve the efficiency of lifting operations with the involvement of UV and is designed in the form of an L-shaped metal structure, which includes: electric mechanisms for the movement of the gripper, lowering/raising the load, moving the cargo trolley, power and control unit. The use of a mobile LFD for UV provides an opportunity to reduce the fatigue of the deck team and increase the level of safety during lifting operations when using operational samples of underwater equipment weighing up to 500 kg.

Key words: electric drive; cargo handling; underwater equipment.

Анотація. *Мета.* Розробка та проектування електроприводного мобільного спуско-підйомного пристрою (СПП) для підводного апарата (ПА), що здатен реалізувати безпечне виконання спуско-підйомних операцій при використанні діючих зразків підводної техніки масою до 500 кг. *Методика.* В рамках дослідження використано метод комплексного моделювання для побудови 3D моделей конструкції електроприводних механізмів руху захвату, спуску/підйому вантажу, переміщення вантажного візка та всього виконавчого обладнання, яке запропоновано застосувати у його складі; метод емпіричного опису технологічних процесів для обґрунтування та пояснення особливостей організації передачі обертових моментів і забезпечення необхідного класу захисту електроприводних механізмів. *Результати.* На базі використання чотирьох виконавчих асинхронних електродвигунів з фазним ротором обладнаних редукторними механізмами, блока енергетики та керування, супровідного електротехнічного обладнання та запропонованої 3D моделі конструкції, розроблено електропривод мобільного СПП для ПА з метою подальшої експлуатації виробу під час проведення різноманітних морських

підводно-технічних робіт з залученням прив'язної підводної техніки. Функціонування виробу забезпечується застосуванням релейно-контакторної схеми керування з підключенням дистанційного кнопкового поста, що дозволяє приведення в рух електроприводних механізмів мобільного СПП за командами оператора. *Наукова новизна.* Виконання спуско-підйомних операцій з застосуванням прив'язних ПА масою до 500 кг, запропоновано реалізовувати з застосуванням мобільного СПП. До складу виробу входить комплект необхідного електрообладнання поєднаного з блоком керування та енергетики, який застосовується для керування електроприводними механізмами руху, що дозволяє реалізувати безперебійний та надійний спуск і підйом підводної техніки з усталеною швидкістю роботи механізмів 0,25 м/с. Прийняті технічні рішення при розробці 3D моделі конструкції виробу привели до створення мобільного пристрою, що підвищує ефективність і гарантує безпеку проведення спуско-підйомних операцій, а також дозволяє збільшити зручність використання прив'язних ПА з борту судно-носія (СН). *Практична значимість.* Розроблений мобільний СПП призначений для покращення ефективності проведення спуско-підйомних робіт з залученням ПА і спроектований у вигляді металевої конструкції Г-подібної форми до складу якої входять: електроприводні механізми руху захвату, спуску/підйому вантажу, переміщення вантажного візка, блок енергетики та керування. Застосування мобільного СПП для ПА надає можливість зменшити втомлюваність палубної команди та підвищити рівень безпеки при виконанні спуско-підйомних операцій при використанні діючих зразків підводної техніки масою до 500 кг.

Ключові слова: електропривод; обробка вантажу; підводна техніка.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

ПА знайшли широке застосування не лише в сфері загальнопромислових підводних технологій, але й у військово-морських флотах багатьох країн, таких як США, Канада, Великобританія, Італія. В даний час у світі розроблено і впроваджено в експлуатацію кілька тисяч ПА, які відрізняються за призначенням і технічними характеристиками.

ПА використовуються в найрізноманітніших сферах, включаючи дослідження океанів, пошук і рятування, а також для військових цілей. В останні роки з'явилася тенденція, що фірми, що спеціалізуються на розробці ПА, підходять до проектування з більш комплексної точки зору. Вони вважають, що ПА є лише частиною більш складної системи, до якої входять численні супутні компоненти.

Комплексна система включає не лише сам ПА, але й СН, який забезпечує спуск та підйом апарату з води завдяки спеціалізованому СПП. Окрім цього, важливими є засоби зв'язку, що забезпечують взаємодію між апаратом і командою на борту СН, а також системи навігаційного, гідрометеорологічного та іншого технічного забезпечення, що дозволяє здійснювати точне керування апаратом та забезпечувати його функціональність у складних підводних умовах.

Тому, набуває актуальності задача розробки та проектування мобільного СПП, що здатен гарантувати безпечність проведення спуско-підйомних операцій з використанням прив'язних ПА масою до 500 кг.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Процес спуску ПА з надводного СН та його підйом на борт після занурення є надзвичайно важливими і відповідальними етапами в експлуатації таких технічних засобів [1–4]. Ці етапи потребують високого рівня точності та обережності, оскільки вони пов'язані з численними ризиками і можуть стати

причинами серйозних неприємностей, включаючи поломки та аварії [5–7]. Особливо складними ці етапи стають у несприятливих погодних умовах, таких як штормова погода [8–11].

Важливо розуміти, що процес спуску і підйому ПА на поверхню і назад на СН є критичними і визначальними для успішного використання апарату в районі робіт [12, 13]. Неправильне виконання цих процедур або несправності в обладнанні можуть не тільки призвести до значних технічних проблем, але й загрожувати безпеці самого апарату, а також членів екіпажу СН, що беруть участь в операціях [14–17].

СПП відіграє важливе значення у цих процесах, оскільки саме від його надійності та ефективності залежить, наскільки безпечно і точно буде проведено спуск або підйом апарату [18, 19]. Відповідно, правильна експлуатація СПП та ретельне дотримання всіх інструкцій і рекомендацій під час проведення цих операцій є вирішальними для забезпечення успіху та безпеки всього процесу [20, 21].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Вплив різних видів качки на роботу спуско-підйомного пристрою неоднаковий. Залежить це і від розміщення пристрою на СН. При розміщенні спуско-підйомного пристрою в кормовій частині СН основний вплив має кільова хитація, а при розміщенні в середній частині – бортова і вертикальна.

Сучасні вимоги до спуско-підйомного обладнання, спрямовані, з одного боку, на зменшення розгойдування апарату на гаку і зниження ймовірності ушкодження його від ударів об борт СН, а з іншого – на забезпечення можливості автоматичного з'єднання рима апарату з гаком, м'яку посадку на воду, м'яку і точну посадку в задане місце на палубі, простоту обслуговування.

Виходячи з цього можна сформулювати вимоги до СПП: швидке, безпечне здійснення операцій

стропування і віддачі стропів від апарату при хвилюванні до 3–4 балів; виключення розгойдування апарата під час спуску та підйому; максимальне зниження ривків в момент відриву апарата від води при хвилюванні, виключення слабину у вантажних тросах; виключення суб'єктивного фактору оператора, керуючого спуско-підйомним пристроєм, в оцінці моменту, сприятливого для відриву апарата від водної поверхні при хвилюванні. Проте, жоден з існуючих на ринку зразків не передбачає використання СПП саме у мобільному виконанні, всі вони являють собою стаціонарні вироби не придатні до застосування з будь-якого іншого місця розміщення.

В роботі запропоновано для покращення ефективності проведення спуско-підйомних робіт з залученням ПА та для реалізації сформульованих вимог розробити електроприводний мобільний СПП. Прийняті технічні рішення надають можливість зменшити втомлюваність палубної команди та підвищити рівень безпеки при виконанні спуско-підйомних операцій.

Метою дослідження є розробка та проектування електроприводного мобільного СПП для ПА, що здатен реалізувати безпечне виконання спуско-підйомних операцій при використанні діючих зразків підводної техніки масою до 500 кг.

ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості *об'єкта дослідження* обрано технологічні процеси, які здатен реалізовувати електроприводний СПП для ПА до складу якого входять: металева конструкція, блок енергетики та керування виконавчими асинхронними електродвигунами з фазними роторами, редукторні та захватний механізми, нарізний барабан, вантажний трос та гакова підвіска.

Предметом дослідження є моделі та методи аналізу для запровадження необхідної точності та надійності роботи електроприводних механізмів руху СПП для ПА, розробка та реалізація алгоритмічного забезпечення для безпечної експлуатації виробу, забезпечення комунікації та сумісності застосованого обладнання, створення 3D моделей складових елементів обладнання та загальної конструкції електропривода мобільного СПП.

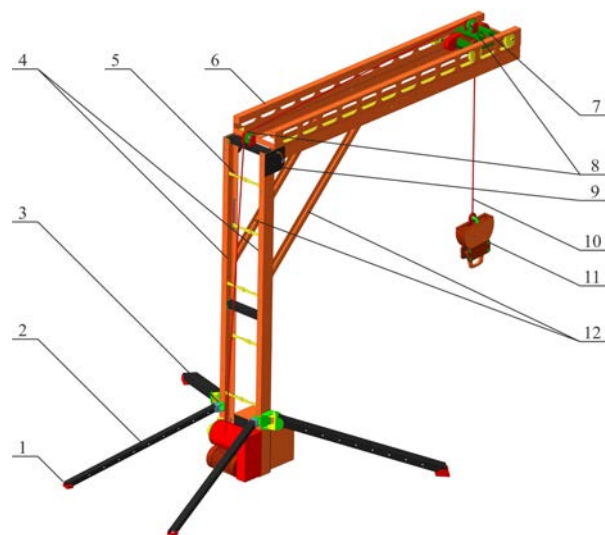
ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Мобільний СПП являє собою інноваційний мобільний механізм, призначений для ефективного підйому та спуску ПА. Пристрій обладнаний необхідним виконавчим електрообладнанням виготовляється у вигляді стаціонарної металевої конструкції, що забезпечує надійність і функціональність у процесі експлуатації. Пристрій має унікальну можливість здійснювати вертикальні повороти на кут до 90°, що забезпечує гнучкість у використанні, а також незмінний виліт стріли, як показано на рис. 1.

Рамна конструкція мобільного СПП відрізняється Г-подібною формою, яка забезпечує додаткову

стабільність і підтримку. Виготовлена вона з високоякісних металевих швелерів, профільних труб, пластин і стрижнів. Всі ці елементи рами надійно з'єднані між собою за допомогою міцних болтових з'єднань, що гарантує довговічність і безпеку конструкції під час експлуатації.

Що стосується установки конструкції, вона спеціально спроектована для можливості використання на нерівних або неусталених поверхнях. Завдяки цьому мобільний СПП може бути розміщений в різноманітних умовах без необхідності підготовки і вирівнювання поверхні. Для забезпечення точного вертикального положення пристрою, конструкція передбачає використання спеціальних профільних ніжок, а також поворотних і карданних фіксаторів (1–3, рис. 1). Дані елементи дозволяють здійснювати необхідне регулювання положення і забезпечують бажану стійкість та точність роботи пристрою в будь-яких умовах.



- 1) – поворотний фіксатор; 2) – профільна ніжка;
- 3) – карданний фіксатор;
- 4) – вертикальні стійки; 5) – висувний механізм;
- 6) – поворотна стріла;
- 7) – вантажний візок; 8) – тросові блоки;
- 9) – поворотний фіксатор стріли;
- 10) – трос; 11) – захватний пристрій;
- 12) – опори вантажонесучої конструкції

Рис. 1. 3D модель рамної конструкції мобільного СПП для ПА

Зміна горизонтального положення поворотної стріли (6, рис. 1) у вертикальне становище здійснюється завдяки впровадженню спеціально розроблених поворотних фіксаторів (10, рис. 1). Фіксатори забезпечують можливість плавного і точного переходу стріли з горизонтальної позиції у вертикальну, що є важливим для ефективної роботи мобільного СПП.

Для підвищення вантажопідйомності та загальної стійкості конструкції мобільного СПП, в її дизайн інтегровано додаткові елементи підтримки. Зокрема, між вертикальними і горизонтальними стійками

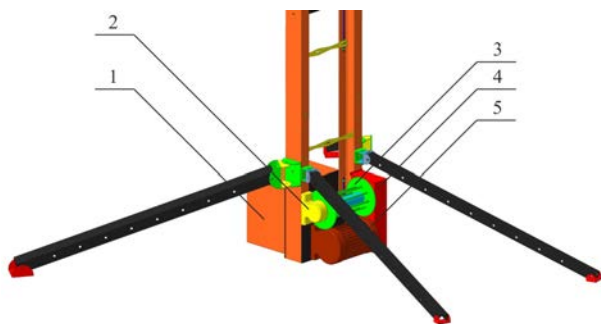
встановлено дві опори вантажонесучої конструкції (9, рис. 1). Опори забезпечують достатню міцність та рівномірний розподіл навантаження, що дозволяє підвищити ефективність роботи пристрою.

Крім того, для забезпечення додаткової жорсткості та стійкості конструкції мобільного СПП використовується система з п'яти поворотних ребер жорсткості (7, рис. 1). На двох з цих ребер встановлені тросові колеса, які забезпечують плавний рух та необхідну підтримку. Тросові колеса оснащені відповідними підшипниковими опорами (8, рис. 1), які забезпечують зменшення тертя та знижують знос компонентів, що, в свою чергу, підвищує загальну надійність і довговічність конструкції.

Оскільки мобільний СПП призначений для використання в умовах, де можливі зміни місця розташування або нерівності поверхні, його конструкція повинна враховувати відсутність постійного механічного зв'язку з основною поверхнею, на якій він розміщується. Це важливо для забезпечення необхідної мобільності та маневреності пристрою, особливо при переміщенні чи зміщенні на різних типах поверхонь.

Для вирішення цієї задачі, конструкція мобільного СПП була спеціально розроблена та спроектована так, що всі важкі елементи пристрою, які можуть створювати значне навантаження, розташовані на двох великих металевих пластинах, що встановлені в нижній частині конструкції (рис. 2). На цих металевих пластинах виникає рівномірний розподіл маси пристрою, який дозволяє стабілізувати його робоче положення. Вони також сприяють зниженню тиску на поверхню, що забезпечує зменшення впливу на її стан і знижує ймовірність утворення вм'ятин або деформацій.

Завдяки такому розташуванню важких елементів, конструкція отримує додаткову підтримку та стійкість, що дозволяє уникнути можливих перекосів і нестабільності, які можуть виникнути при роботі на нерівних або неусталених поверхнях. Також, це допомагає зменшити ризик пошкодження конструкції або самого поверхневого покриття, на якому вона розташована.



- 1) – блок енергетики та керування;
2) – підшипникова опора барабану;
3) – барабан; 4) – редуктор; 5) – виконавчий двигун

Рис. 2. Розташування виконавчих елементів на МСПП

Блок енергетики та керування мобільного СПП (1, рис. 2), виконує критично важливу роль у функціонуванні всього обладнання. Це основна компонента складового обладнання, що відповідає за організацію та забезпечення електричного живлення всіх виконавчих елементів, що використовуються для керування процесом спуску та підйому ПА. Блок енергетики та керування забезпечує не тільки подачу електричної енергії, але й контроль над різними етапами роботи пристрою.

Даний блок є комплексною інтеграцією кількох функцій. По-перше, він забезпечує централізоване живлення всіх електричних компонентів системи, що є необхідним для нормального функціонування електроприводного механізму спуску/підйому ПА. Завдяки цьому забезпечується безперебійна робота всіх електронних систем і механізмів, що впливає на рівень необхідної безпеки і ефективності проведення спуско-підйомних операцій.

Система керування мобільним СПП дозволяє оператору здійснювати точне регулювання і контролювання роботи механізму спуску/підйому ПА, що, в свою чергу, забезпечує безперебійне і безпечне виконання таких завдань.

Що стосується джерел живлення, блок енергетики та керування може бути оснащений як бензиновим, так і акумуляторним автономним джерелом живлення. Подібне технічне рішення забезпечує гнучкість у виборі джерела енергії, відповідно до конкретних умов експлуатації та доступності ресурсів. Бензиновий генератор забезпечує високу потужність і тривалий час роботи, що є корисним у випадках, коли тривале або інтенсивне використання обладнання необхідне. Акумуляторне джерело живлення, в свою чергу, забезпечує екологічний варіант зниженої шумової характеристики, що може бути важливим у певних операційних середовищах або для зменшення впливу на навколишнє середовище.

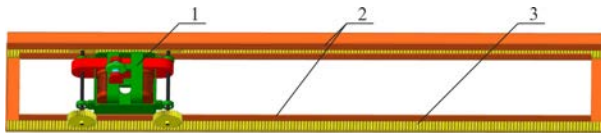
В підшипникових опорах (2, рис. 2) розміщується важлива складова частина конструкції – металевий стрижень, до якого жорстко прикріплений барабан (3, рис. 2). Цей барабан є ключовим елементом, що взаємодіє з зубцевою шестернею, забезпечуючи необхідний механічний вплив для подальшого виконання функцій пристрою.

Металевий стрижень забезпечує стабільне і надійне кріплення барабана, що критично важливо для забезпечення точності і ефективності роботи всієї системи. Сам барабан виконує функцію управління обертанням, яке, у свою чергу, здійснюється через спеціально підібраний редуктор (4, рис. 2). Редуктор забезпечує необхідне зниження швидкості обертання та підвищення крутного моменту, що критично важливо для правильного функціонування системи в цілому.

Процес обертання барабана реалізується завдяки використанню виконавчого асинхронного двигуна

з фазним ротором (5, рис. 3). Такий тип електродвигуна відрізняється своєю високою ефективністю і надійністю, що робить його ідеальним вибором для управління обертанням барабана через редуктор. Асинхронний двигун забезпечує стабільну і контрольовану передачу енергії, що сприяє точності і узгодженості роботи всіх механізмів.

Вантажний візок переміщується по спеціально спроектованим рейкам. Ці рейки, що знаходяться на поворотній стрілі мобільного СПП, мають довжину до 2 м (рис. 3). Таке рішення дозволяє забезпечити плавний і безперебійний рух візка, що критично важливо для точного позиціонування та виконання всіх необхідних операцій. Довжина рейок і їх конструкція дозволяють візку здійснювати необхідні переміщення з високою точністю, що сприяє загальному підвищенню ефективності та надійності системи.



1) – вантажний візок; 2) – механічні обмежувачі; 3) – пази зачеплення

Рис. 3. Основні елементи вантажної платформи мобільного СПП

Процес переміщення ПА вздовж стріли мобільного СПП реалізується завдяки використанню електроприводного вантажного візка (рис. 4).

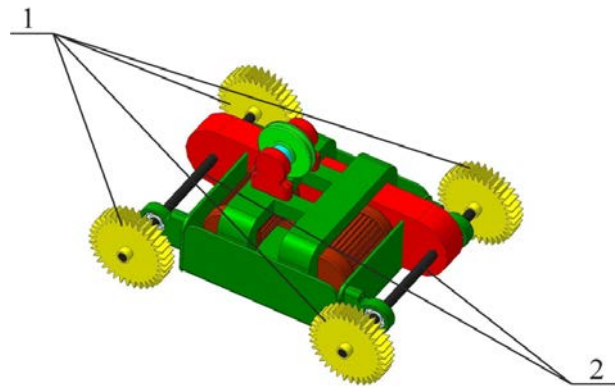
Завдяки вантажному візку забезпечується ефективне і безпечне транспортування ПА з одного місця на інше. Його конструкція спеціально розроблена і спроектована для роботи в умовах, де необхідно здійснювати точне позиціонування і переміщення об'єктів масою до 500 кг, таких як прив'язний ПА. Цей візок має здатність працювати на різних типах поверхонь і може бути оснащений різними механізмами для полегшення руху. Для забезпечення надійності та безпеки переміщення, вантажний візок оснащується елементами керування, які дозволяють операторам контролювати процес переміщення з достатньою точністю.

Важливою характеристикою вантажного візка є його здатність рухатися вздовж стріли СПП, що дозволяє переміщувати ПА за борт судна. Прийняте рішення забезпечує необхідний рівень маневреності і стабільності при виконанні операцій з ПА.

Основні виконавчі елементи вантажного візка зображено на рис. 5.

Електроприводний механізм переміщення вантажного візка забезпечує ефективну роботу мобільного СПП для ПА. Основою цього механізму є чотири опорні шестерні, які відіграють ключову роль у забезпеченні руху візка. Обертний момент, необхідний для функціонування цих шестерень, надходить від двох виконавчих електродвигунів. Електродвигуни

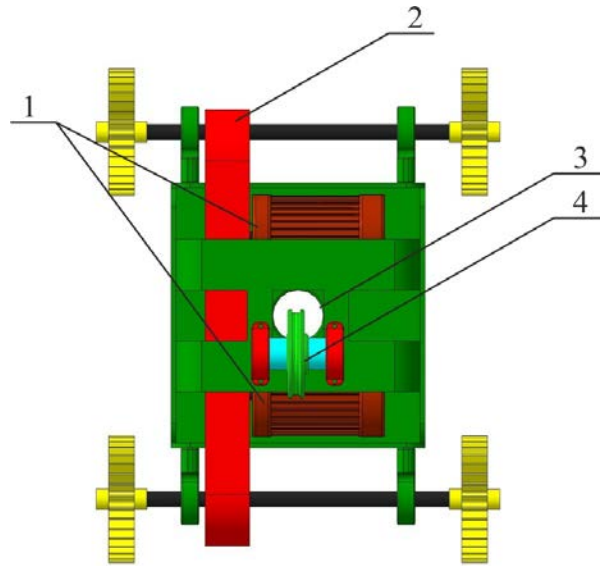
через один циліндричний двоступеневий редуктор передають крутний момент на шестерні, що забезпечує плавний і контрольований рух вантажного візка.



1) – опорні шестерні; 2) – обертові вали

Рис. 4. Вантажний візок (вид збоку)

Редуктор, що відповідає за зниження швидкості обертання і підвищення крутного моменту, закріплений на рамі візка між опорними шестернями. Він забезпечує контроль над швидкістю та напрямком руху вантажного візка. Тихохідні вали редуктора з'єднуються з опорними шестернями за допомогою спеціальних муфт, які забезпечують надійне і безвідмовне з'єднання елементів системи.



1) – виконавчі електродвигуни; 2) – редуктор; 3) – отвір для тросу; 4) – блок

Рис. 5. Вантажний візок (вид зверху)

На вільному кінці швидкохідного валу редуктора встановлений гальмівний шків, який використовується для контролю швидкості руху візка і забезпечення його безпечного гальмування. Гальмівний шків допомагає точно регулювати швидкість обертання і запобігає

можливим проблемам, пов'язаним із терміновим гальмуванням у випадку екстреного реагування на можливе виникнення передаварійної ситуації.

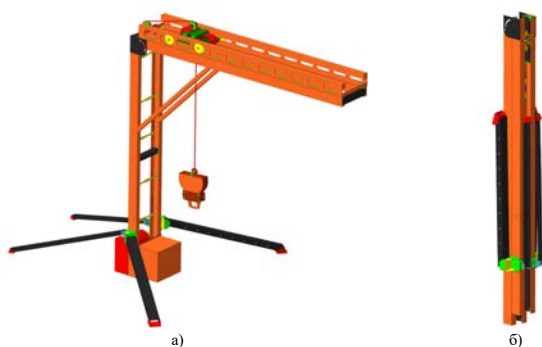
Для забезпечення точності в процесі переміщення, на рамі вантажного візка з обох боків встановлені відбійні лінійки. Вони взаємодіють з кінцевим вимикачем, що знаходиться в кінці шляху переміщення візка. Взаємодія відбійних лінійок з кінцевим вимикачем забезпечує гарантоване зупинення візка в потрібній позиції, запобігаючи можливим пошкодженням і забезпечуючи безпеку під час роботи.

Додатково, на транспортному візку встановлений кронштейн, який підтримує блок для тросу спуско-підйомного механізму. Такий блок забезпечує правильне керування і підтримку тросу, що необхідно для функціонування спуско-підйомного механізму. Кронштейн з блоком для тросу сприяє ефективному керуванню при переміщенні ПА у просторі.

Розроблена конструкція мобільного СПП розроблена і спроектована таким чином, що вона може перебувати лише в двох основних експлуатаційних положеннях, кожне з яких відповідає певному етапу його функціонування:

1) Робоче положення (а, рис. 6). Таке положення є активним і призначене для виконання основних функцій СПП. У цьому режимі пристрій перебуває у повністю розгорнутому стані, що дозволяє йому здійснювати підйом і спуск ПА. Робоче положення забезпечує оптимальне розміщення всіх механізмів і компонентів для ефективного виконання своїх завдань.

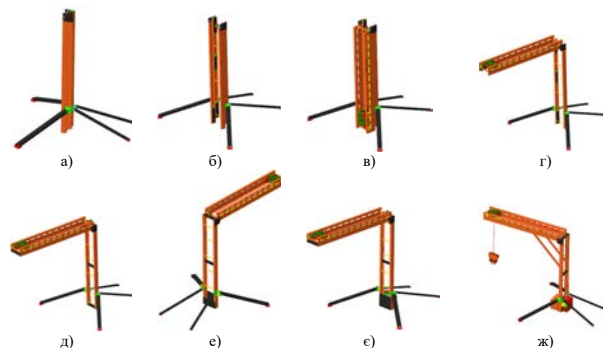
2) Транспортне положення (б, рис. 6). Таке положення є компактним і призначене для переміщення мобільного СПП між різними локаціями або для зберігання, коли пристрій не використовується. У цьому положенні конструкція складається таким чином, що займає мінімум простору, що спрощує її транспортування та зберігання.



а) – робоче положення; б) – транспортне положення
Рис. 6. Основні експлуатаційні положення мобільного СПП

Процес переходу конструкції мобільного СПП з транспортного положення в робоче здійснюється у кілька чітко визначених етапів. Послідовність розгортання включає в себе вісім окремих етапів, які

детально представлені на рис. 7. Кожен етап включає в себе певні дії та налаштування, які необхідні для того, щоб підготувати мобільний СПП з компактного транспортного стану в повністю функціональне робоче положення.



а) – установка ніжок; б) – відкриття висувних механізмів; в) – установка стріли з візком; г) – поворот стріли у робоче положення; д) – установка поворотних ребер жорсткості; е) – установка пластин; є) – установка обертового обладнання; ж) – установка захватного механізму і блока енергетики та керування СПП

Рис. 7. Послідовність розгортання мобільного СПП для ПА

На першому етапі пристрій починає процес розгортання з початкового транспортного стану, що може включати в себе розгортання основних частин конструкції, які були складені для транспортування. Наступні етапи, представлені регламентують подальші дії, які включають в себе регулювання і фіксацію різних компонентів, а також налаштування механізмів для досягнення оптимального робочого положення.

На кожному з цих етапів важливо забезпечити правильне і точне виконання всіх операцій, щоб гарантувати, що мобільний СПП буде готовий до ефективного використання у робочому положенні. До цього входить: перевірка всіх з'єднань, регулювання механізмів; налаштування параметрів роботи пристрою. Основні технічні характеристики розробки представлені у табл. 1.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

В якості виконавчих пристроїв електропривода мобільний СПП передбачає використання асинхронних двигунів з фазним ротором, які характеризуються надійністю та стійкістю до механічних навантажень. Такі двигуни забезпечують стабільну роботу завдяки використанню фазного ротора, що дозволяє досягати високих показників крутного моменту навіть при змінних умовах експлуатації.

Однак, варто зазначити, що асинхронні двигуни з фазним ротором потребують регулярного обслуговування, зокрема перевірки та заміни підшипників і щіток, що є частиною конструкції. Також серед недоліків можна зазначити зменшення ефективності при високих швидкостях та можливість появи

Таблиця 1. Основні технічні характеристики розробки

№ з/п	Найменування параметра	Значення
1	Напруга змінного живлення, В	220/380
2	Частота мережі, Гц	50
3	Спуско-підйомний механізм: – модель електродвигуна – потужність, кВт – модель редуктора	132S – 1 шт. 1,5 H2.506
4	Механізм переміщення вантажного візка: – модель електродвигуна – потужність, кВт – модель редуктора	712S – 2 шт. 0,12 H2.214
5	Механізм захвату вантажу: – мотор-редуктор – потужність, кВт – тип захвату	80B4 – 1 шт. 0,75 механічний, рейковий
6	Тип виконавчих електродвигунів / клас захисту	асинхронний з фазним ротором / IP56
7	Вантажопідйомність, кг	500
8	Висота спуску / підйому вантажу, м	5
9	Діаметр барабана, м	0,09
10	Швидкість роботи механізмів руху, м/с	0,25
11	Час необхідний для захвату вантажу, с	до 5
12	Пристрій керування	магнітний контролер, кнопковий пост
13	Спосіб керування	релейно-контакторний
14	Довжина стріли, мм	2090
15	Габарити рамної конструкції, м	3,64x1,82x2,1
16	Маса захватного пристрою, кг	10
17	Маса пристрою в зібраному стані, кг	272

пульсацій крутного моменту на низьких швидкостях обертання.

На базі використання чотирьох виконавчих асинхронних електродвигунів з фазним ротором облаштованих редукторними механізмами, блока енергетики та керування, супровідного електротехнічного обладнання та запропонованої 3D моделі конструкції, розроблено електропривод мобільного СПП для ПА з метою подальшої експлуатації виробу під час проведення різноманітних морських підводно-технічних робіт з залученням прив'язної підводної техніки. Функціонування виробу забезпечується застосуванням релейно-контакторної схеми керування з підключенням дистанційного кнопкового поста, що дозволяє приведення в рух

електроприводних механізмів мобільного СПП за командами оператора.

ВИСНОВКИ

1. Розроблений мобільний СПП призначений для покращення ефективності проведення спуско-підйомних робіт з залученням ПА і спроектований у вигляді металевої конструкції Г-подібної форми до складу якої входять: електроприводні механізми руху захвату, спуску/підйому вантажу, переміщення вантажного візка, блок енергетики та керування.

2. Застосування мобільного СПП для ПА надає можливість зменшити втомлюваність палубної команди та підвищити рівень безпеки при виконанні спуско-підйомних операцій при використанні діючих зразків підводної техніки масою до 500 кг.

REFERENCES

- [1] Zhengyang S., Yan X., Dianqing L., Shun W., Jinbao S. (2023) SPH-DEM modeling of cable-controlled ROVs: Underwater mobility and path planning. *Ocean engineering*, 292(3):116623. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.116623
- [2] Aguirre-Castro O.A., Gonzalez E.I., García-Guerrero E.E., Tlelo-Cuautle E., Lopez-Bonilla O.R., Olguín Tiznado Y.J., Cárdenas-Valdez J.R. (2019) Design and construction of an ROV for underwater exploration. *Sensors*, 19(24):5387. DOI: 10.3390/s19245387
- [3] Marko V., Slaven J., Ante Č., Ante K. (2017) Underwater ROV as inspection and development platform. *Transactions on maritime science*, 6(1). DOI: 10.7225/toms.v06.n01.005
- [4] Ferreira C.Z., Conte G.Y. C., Avila J.P. J., Pereira R.C., Ribeiro T.M. C., (2014) Underwater robotic vehicle for ship hull inspection. *ABCM symposium series in mechatronics*, 6, 622-632.
- [5] Nordhauser A., Knudsen J., Shannon M., Hartwig C. (2024) Improving safety, risk mitigation, and efficiency for installation, repair, maintenance, and decommissioning of subsea equipment. *Offshore technology conference*. DOI: 10.4043/35251-MS

- [6] L. Tait, Bulleid J., Rodgers L.P., Seaward K., Olsen L., Woods C., Lane H., Inglis G.J. (2023) Towards remote surveillance of marine pests: A comparison between remote operated vehicles and diver surveys. *Frontiers in marine science*, 10, 1102506. DOI: 10.3389/fmars.2023.1102506
- [7] Hu Y., Yin H., Wang S., Yao B., Lian L. (2016) Dynamic response analysis for landing collision of a new underwater lifting device. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 50(3), 456-459. DOI: 10.16183/j.cnki.jsjtu.2016.03.023
- [8] Mohammad A.K., Izzat N.Y., Jin-Woo J. (2024) Affordable 3D orientation visualization solution for working class remotely operated vehicles (ROV). *Sensors*, 24(16), 5097. DOI: 10.3390/s24165097
- [9] Nadel S.J., Smith L.C., Murphy R.R. (2019) Autonomous navigation and obstacle avoidance for unmanned surface vehicles using real-time color stereo vision in oceans. *MTS/IEEE*, 1-8.
- [10] Wehlitz C., Mabilie E. (2023) Detached breakwaters protect large marine infrastructure from severe storms. *Coastal engineering proceedings*. DOI: 10.9753/icce.v37.structures.66
- [11] Heck N., Beck M.W., Reguero B.G. (2021) Storm risk and marine fisheries: a global assessment. *Marine policy*, 132(2), 104698. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104698
- [12] Han M.L., Heng Zh., Ning L. (2012) Simulation and analysis of swing motion of lifting load system on rescue vehicle. *Advanced materials research*, 538-541, 725-729. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.538-541.725
- [13] Zhaoqi L., He Ch., Lu Ch. (2024) Antiswing control of offshore cranes under ship rolling disturbances: an active disturbance rejection control based approach. *Nonlinear dynamics*. DOI: 10.1007/s11071-024-10113-z
- [14] Celik M., Cebi S. (2009) Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. *Accident analysis & prevention*, 41(1), 66-75. DOI: 10.1016/j.aap.2008.09.004
- [15] Nyein Z.L. (2024) Mitigating the risk of ship accidents with an integrated approach to maritime safety management. *Maritime park journal of maritime technology and society*, 3(2), 73-80.
- [16] Hansen H.L., Laursen L.H., Frydberg M., Kristensen S., (2008) Major differences in rates of occupational accidents between different nationalities of seafarers. *International maritime health*, 59(1-4), 7-18.
- [17] Eliopoulou E., Papanikolaou A., Voulgarellis M. (2016) Statistical analysis of ship accidents and review of safety level. *Safety science*, (85), 282-292. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.02.001
- [18] Yuchi C., Tieshan L. (2020) Review of antiswing control of shipboard cranes. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7(2), 346-354. DOI: 10.1109/JAS.2020.1003024
- [19] Ramli L., Mohamed Z., Abdullahi A.M., Jaafar H.I., Lazim I.M. (2017) Control strategies for crane systems: a comprehensive review. *Mechanical systems and signal processing*, 95, 1-23. DOI: 10.1016/j.ymssp.2017.03.015
- [20] Huang J., Maleki E., Singhose W. (2013) Dynamics and swing control of mobile boom cranes subject to wind disturbances. *IET Control theory & application*, 7(9), 1187-1195. DOI: 10.1049/iet-cta.2012.0957
- [21] Ouyang H.M., Zhang G.M., Mei L., Deng X., Wang D.M. (2016) Load vibration reduction in rotary cranes using robust two-degree-of-freedom control approach. *Advances in mechanical engineering*, 8(3), 73-89. DOI: 10.1177/1687814016641819

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Zhengyang S., Yan X., Dianqing L., Shun W., Jinbao S. (2023) SPH-DEM modeling of cable-controlled ROVs: Underwater mobility and path planning. *Ocean engineering*, 292(3):116623. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.116623
- [2] Aguirre-Castro O.A., Gonzalez E.I., García-Guerrero E.E., Tlelo-Cuautle E., Lopez-Bonilla O.R., Olguín Tiznado Y.J., Cárdenas-Valdez J.R. (2019) Design and construction of an ROV for underwater exploration. *Sensors*, 19(24):5387. DOI: 10.3390/s19245387
- [3] Marko V., Slaven J., Ante Č., Ante K. (2017) Underwater ROV as inspection and development platform. *Transactions on maritime science*, 6(1). DOI: 10.7225/toms.v06.n01.005
- [4] Ferreira C.Z., Conte G.Y. C., Avila J.P. J., Pereira R.C., Ribeiro T.M. C., (2014) Underwater robotic vehicle for ship hull inspection. *ABCM symposium series in mechatronics*, 6, 622-632.
- [5] Nordhauser A., Knudsen J., Shannon M., Hartwig C. (2024) Improving safety, risk mitigation, and efficiency for installation, repair, maintenance, and decommissioning of subsea equipment. *Offshore technology conference*. DOI: 10.4043/35251-MS
- [6] L. Tait, Bulleid J., Rodgers L.P., Seaward K., Olsen L., Woods C., Lane H., Inglis G.J. (2023) Towards remote surveillance of marine pests: A comparison between remote operated vehicles and diver surveys. *Frontiers in marine science*, 10, 1102506. DOI: 10.3389/fmars.2023.1102506
- [7] Hu Y., Yin H., Wang S., Yao B., Lian L. (2016) Dynamic response analysis for landing collision of a new underwater lifting device. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 50(3), 456-459. DOI: 10.16183/j.cnki.jsjtu.2016.03.023
- [8] Mohammad A.K., Izzat N.Y., Jin-Woo J. (2024) Affordable 3D orientation visualization solution for working class remotely operated vehicles (ROV). *Sensors*, 24(16), 5097. DOI: 10.3390/s24165097
- [9] Nadel S.J., Smith L.C., Murphy R.R. (2019) Autonomous navigation and obstacle avoidance for unmanned surface vehicles using real-time color stereo vision in oceans. *MTS/IEEE*, 1-8.
- [10] Wehlitz C., Mabilie E. (2023) Detached breakwaters protect large marine infrastructure from severe storms. *Coastal engineering proceedings*. DOI: 10.9753/icce.v37.structures.66
- [11] Heck N., Beck M.W., Reguero B.G. (2021) Storm risk and marine fisheries: a global assessment. *Marine policy*, 132(2), 104698. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104698

- [12] Han M.L., Heng Zh., Ning L. (2012) Simulation and analysis of swing motion of lifting load system on rescue vehicle. *Advanced materials research*, 538-541, 725-729. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.538-541.725
- [13] Zhaoqi L., He Ch., Lu Ch. (2024) Antiswing control of offshore cranes under ship rolling disturbances: an active disturbance rejection control based approach. *Nonlinear dynamics*. DOI: 10.1007/s11071-024-10113-z
- [14] Celik M., Cebi S. (2009) Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. *Accident analysis & prevention*, 41(1), 66-75. DOI: 10.1016/j.aap.2008.09.004
- [15] Nyein Z.L. (2024) Mitigating the risk of ship accidents with an integrated approach to maritime safety management. *Maritime park journal of maritime technology and society*, 3(2), 73-80.
- [16] Hansen H.L., Laursen L.H., Frydberg M., Kristensen S., (2008) Major differences in rates of occupational accidents between different nationalities of seafarers. *International maritime health*, 59(1-4), 7-18.
- [17] Eliopoulou E., Papanikolaou A., Voulgarellis M. (2016) Statistical analysis of ship accidents and review of safety level. *Safety science*, (85), 282-292. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.02.001
- [18] Yuchi C., Tieshan L. (2020) Review of antiswing control of shipboard cranes. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7(2), 346-354. DOI: 10.1109/JAS.2020.1003024
- [19] Ramli L., Mohamed Z., Abdullahi A.M., Jaafar H.I., Lazim I.M. (2017) Control strategies for crane systems: a comprehensive review. *Mechanical systems and signal processing*, 95, 1-23. DOI: 10.1016/j.ymssp.2017.03.015
- [20] Huang J., Maleki E., Singhose W. (2013) Dynamics and swing control of mobile boom cranes subject to wind disturbances. *IET Control theory & application*, 7(9), 1187-1195. DOI: 10.1049/iet-cta.2012.0957
- [21] Ouyang H.M., Zhang G.M., Mei L., Deng X., Wang D.M. (2016) Load vibration reduction in rotary cranes using robust two-degree-of-freedom control approach. *Advances in mechanical engineering*, 8(3), 73-89. DOI: 10.1177/1687814016641819

© Войтасик А. М.

Дата надходження статті до редакції: 20.10.2024

Дата затвердження статті до друку: 02.11.2024