

ПРОЄКТНІ ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ БЕЗЕКІПАЖНОГО САМОХІДНОГО ПРИВ'ЯЗНОГО ПІДВОДНОГО КОМПЛЕКСУ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Блінцов В. С., д-р техн. наук, професор Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна; e-mail: volodymyr.blintsov@nuos.edu.ua; ORCID: 0000-0002-3912-2174

Клочков О. П., викладач Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Украна; e-mail: oleksandr.klockov@nuos.edu.ua; ORCID: 0000-0002-6426-3374

Наведено обґрунтування системного підходу до створення безекіпажного самохідного прив'язного підводного комплексу на ранніх стадіях проектування як ефективного інструменту для проведення підводно-технічних робіт. Основою системного підходу є рівняння існування за матеріальною, енергетичною та інформаційною складовими. Розглянуто взаємозв'язок та вплив на ці складові четвертого фактору, що пояснюється з позицій функціональної доцільності створення елементів безекіпажного самохідного прив'язного підводного комплексу та базується на рівняннях існування, які висвітлюють експлуатаційний бік роботи прив'язного підводного апарата. Пояснено, що не всі експлуатаційні особливості можливо надати у чисельному вигляді, а є лише можливість надати їх опис та визначити вплив на роботу комплексу загалом. У якості прикладу представлено роботу комплексу на якірній стоянці з розрахунком витрат часу, що є чисельною функціональною складовою на обстеження певної площі донної поверхні.

Ключові слова: самохідний прив'язний підводний комплекс, системний підхід, кабель-трос, рівняння існування.

DOI: 10.33815/2313-4763.2018.2.19.?–?

Постановка задачі дослідження. Самохідні прив'язні підводні комплекси (СППК) є перспективним засобом морської робототехніки (ЗМР), за допомогою якого виконується широкий спектр підводних робіт пошукового, інспекційного та дослідницького характеру [1, 2]. До складу типового СППК входять: самохідний прив'язний підводний апарат (СППА, в англійській літературі – remotely operated vehicles, ROV), який за допомогою кабель-троса (КТ, в англійській літературі – tether cable, TC) з'єднаний з постом енергетики та керування СППК (ПЕК, в англійській літературі – control and energy device, CED), що розміщують на безекіпажному надводному судні-носії (БСН, в англійській літературі – unpowered surface vessel, USV). Зазначимо, що ПЕК забезпечує керування СППК в усіх режимах його просторового руху та в усіх технологічних режимах за призначенням.

Опускання СППА на воду (початкова фаза підводної роботи) та його підйом на палубу БСН (завершальна фаза підводної роботи) виконуються за допомогою суднового спуско-піднімального пристрою (СПП, в англійській літературі – cargo device, CD). Для зберігання КТ у міжопераційний період та для керованої зміни довжини його попущеної частини під час виконання підводних робіт на БСН розміщують також кабельну лебідку (КЛ, в англійській літературі – cable winch, CW), рис. 1.

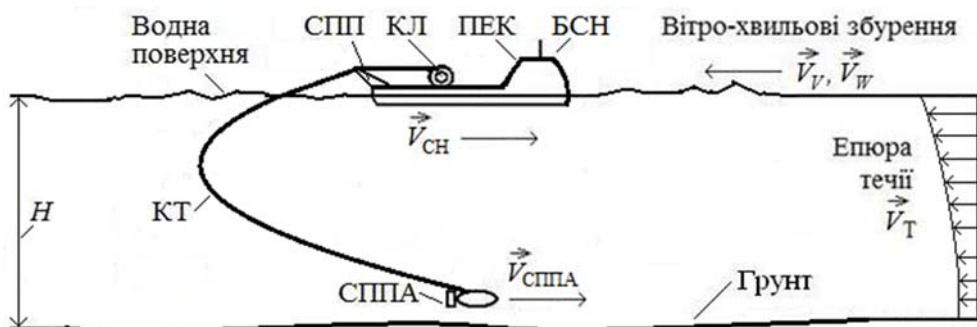


Рисунок 1 – Склад обладнання типового СППК

Проектування такої техніки є складною науково-технічною задачею і вимагає виконання низки взаємно протилежних за змістом умов. До головних умов відносяться отримання ЗМР з мінімальними масо-габаритними характеристиками, мінімальним споживанням електроенергії, а також із заданими Замовником інформаційно-комунікативними та експлуатаційними можливостями. Зокрема, висуваються вимоги щодо максимальної продуктивності виконуваних морських операцій, якості отримуваної з-під води інформації тощо [3, 4].

На цей час ефективним теоретичним підґрунтям проектування такої техніки є системний підхід, який дає змогу знаходити узгоджені конструкторські рішення, застосовуючи рівняння існування ЗМР за матеріальними, енергетичними та інформаційними критеріями [5].

Однак застосування системного підходу у повному обсязі вимагає уведення у конструкторську практику ще однієї його складової, яка б враховувала досягнення конструктором ЗМР головної мети проектування – розв'язку (за умови виконання всіх попередніх конструкторських задач) задачі щодо функціональної ефективності створюваного СППК.

Таким чином, удосконалення теоретичних основ проектування ЗМР у напрямі урахування вимог до функціональних (експлуатаційних) характеристик як складової системного підходу є актуальним прикладним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час теоретичні основи проектування та створення окремих складових СППС (СППА, КТ та ін.) у вітчизняній та зарубіжній літературі висвітлені досить повно [6, 7]. Перші наукові публікації за вказаним напрямом охоплювали питання створення окремих складових підводних апаратів (рушіїв, систем електроживлення тощо) [8, 9]. Подальші дослідження стосувались розробки теорії та методів проектування СППА різного призначення [10–13]. Досліджувались також питання створення телекерованих підводних апаратів для виконання окремих видів робіт та їх начіпного обладнання (маніпуляторів та ін.) [14, 15].

Окремі роботи було присвячено проектуванню КТ для СППА та дослідженню його впливу на експлуатаційні характеристики СППА та на його керованість [16, 17].

Важливим науковим напрямом виявились питання побудови та вдосконалення систем автоматичного керування СППА, у тому числі з урахуванням впливу кабель-тросів для забезпечення ефективного їх функціонування [18, 19], а також питання автоматизації проектування СППА [20].

Останнім часом увагу науковців привертає необхідність системного підходу до створення самохідних прив'язних підводних засобів робототехніки. Такий підхід передбачає проектування окремих складових СППК (СППА, КТ, КЛ, СПІ та ПЕК) як елементів єдиного механізму, що виконує задану підводну місію з максимальною експлуатаційною ефективністю [21–23]. Проте, вказані та інші роботи не досліджують процес проектування з єдиних системних позицій і не досліджують взаємозв'язок між проектними рішеннями складових СППК і його загальними функціональними (експлуатаційними) характеристиками. Це призводить до збільшення трудомісткості та витрат часу на виконання проектних робіт через ітераційні процеси на етапах технічного та робочого проектування.

Мета дослідження – удосконалення теоретичних основ проектування самохідних прив'язних підводних комплексів шляхом урахування вимог до їх функціональних (експлуатаційних) характеристик на ранніх етапах проектування як складової системного підходу.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо процес проектування СППК з позицій системного підходу, коли в основу проектних розрахунків покладено систему рівнянь існування $EE_{M,E,I}$ створюваного ЗМР за матеріальними M , енергетичними E та інформаційними I критеріями [5].

Завдання проектування СППК буде полягати у визначенні конструктивних параметрів та експлуатаційних характеристик його складових $S_{СППК} = \{СППА; КТ; КЛ; СПП; БСН\}$, які б задовольняли вимогам Замовника, сформульованим у технічному завданні (ТЗ) на створення такого комплексу.

Розглянемо особливості застосування рівнянь існування для СППА як основного виконавчого елемента СППК.

У якості матеріального критерію M для цієї складової СППК правомірним буде застосування відомих рівнянь існування мас і об'ємів підводного робота [24]:

$$M_{СППА} = \sum_{i=1}^n m_{Ai} + \sum_{j=1}^k m_{Bk} \leq M_{СППАТЗ}; \quad (1)$$

$$V_{СППА} = \sum_{i=1}^n v_{Ai} + \sum_{j=1}^k v_{Bk} \leq V_{СППАТЗ}, \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^n m_{Ai}$ – сумарна маса елементів постійного складу СППА (елементи конструкції рами та плавучості, герметичні корпуси електрообладнання, інформаційно-навігаційний та рушійно-стерновий комплекси, штатно встановлені фото-, відео- та гідроакустичні прилади тощо); $\sum_{j=1}^k m_{Bk}$ – маса елементів змінюваного начіпного обладнання СППА (підводні маніпулятори та різакі тросів, вимірювальні прилади, обладнання для встановлення на морському дні тощо); $M_{СППАТЗ}$, $V_{СППАТЗ}$ – відповідно, маса та об'єм СППА, задані у ТЗ; n , k – кількість елементів СППА, відповідно, постійного та змінюваного складу.

За енергетичним критерієм E рівняння існування СППА доцільно складати у вигляді рівняння балансу його споживаної потужності $P_{СППА}$, яка складається із суми потужностей $P_{СППАР}$ його елементів, що отримують енергоживлення протягом всього часу проведення підводної місії, суми потужностей $P_{СППАВ}$ змінюваного начіпного обладнання СППА та суми потужностей $P_{СППАТ}$ електроприводів рушійно-стернового комплексу (РСК) [5, 24].

Тоді з урахуванням коефіцієнта одночасності застосування начіпного обладнання k_V та коефіцієнта k_T , який враховує одночасність роботи електроприводів РСК у найбільш важкому режимі руху, рівняння балансу потужності СППА (умова існування СППА за енергетичним критерієм) буде мати вигляд:

$$P_{СППА} = P_{СППАР} + k_V P_{СППАВ} + k_T P_{СППАТ} \leq P_{СППАТЗ}, \quad (3)$$

де $P_{СППАТЗ}$ – споживана потужність СППА, задана у ТЗ.

Розглянемо тепер особливості проектування СППА за інформаційним критерієм I . На доповнення до [5], де пропонується забезпечувати електромагнітну сумісність, завадостійкість, криптографічний захист інформаційних потоків, рівняння балансу інформаційних потоків СППА має відображати можливість побудови каналів обміну інформацією між СППА та ПЕК для:

- керованого просторового руху СППА (інтенсивність обміну інформацією $I_{КПР}$ [Кбайт/с] має забезпечувати оперативне керування просторовим рухом СППА),
- передачі телеметричної інформації про поточний технічний стан СППА (інтенсивність обміну інформацією I_T [Кбайт/с] має забезпечувати своєчасний моніторинг працездатності елементів СППА та оперативне виявлення відмов),

– дистанційного керування підводними інструментами та приладами (інтенсивність обміну інформацією $I_{КП}$ [Кбайт/с] має забезпечувати оперативне керування начіпним обладнанням СППА);

– передачі на ПЕК фото-, відео-, гідроакустичної та іншої підводної інформації про підводну обстановку та про хід і результати виконання підводних місій за призначенням СППА (інтенсивність обміну інформацією $I_{ФВГ}$ [Кбайт/с] має забезпечувати надходження інформації до ПЕК у реальному часі).

Двосторонній інформаційний обмін між СППА і ПЕК реалізується за допомогою провідного каналу зв'язку через КТ на основі застосування комунікаційної апаратури відповідної пропускної здатності $q_{КА}$.

Обов'язковою умовою тут має бути відношення $q_{КА} \leq q_{КТ}$, де $q_{КТ}$ – пропускна здатність КТ.

Тоді рівняння балансу інформаційних потоків між СППА і ПЕК (умова існування підводного апарата за інформаційним критерієм) буде мати вигляд:

$$I_{СППА} = \left| k_{КПР} I_{КПР} + k_{ТІ} I_{ТІ} + k_{КПІ} I_{КПІ} + k_{ФВГ} I_{ФВГ} \right|_{q_{КА} \leq q_{КТ}} \leq I_{СППАТЗ}, \quad (4)$$

де $I_{СППА}$, $I_{СППАТЗ}$ – відповідно, розрахункова та задана в ТЗ інтенсивності інформаційного обміну (пропускні спроможності каналу зв'язку) між СППА і ПЕК.

Досвід авторів у проектуванні ЗМР свідчить, що до розглянутих вище трьох критеріїв існування СППА доцільно додати ще один критерій існування, який давав би змогу оцінювати науково-технічний рівень створюваного підводного апарата за основним його призначенням – виконанням підводних робіт з заданими Замовником експлуатаційними показниками. Автори пропонують увести у розгляд функціональний критерій J , який давав би змогу оцінювати експлуатаційну ефективність нової техніки. Це зумовлено великим переліком та різноманіттям експлуатаційних вимог до СППА і складністю їх формалізації.

До таких вимог, зазвичай, проектувальники ЗМР відносять робочу глибину занурення та гідрометеорологічні умови роботи (критерії J_H та J_K), кількість обслуговуючого персоналу та зручність технічного обслуговування (критерії J_{P1} та J_{P2}), технічну надійність (критерій J_R), вплив на навколишнє середовище (критерій J_W), рівень автоматизації сервісних функцій (критерій J_A), вимоги до транспортування і зберігання (критерії J_{T1} та J_{T2}) тощо.

Автори пропонують доповнити перелічені вимоги ще однією експлуатаційною вимогою – продуктивністю СППА при виконанні пошукової підводної місії (критерій J_Q). Це зумовлено необхідністю виконання головного для більшості підводних місій завдання – пошуку затонулих об'єктів на заданій акваторії чи донній поверхні у визначений термін часу.

Таким чином, у загальному випадку, функціональний критерій J можна записати як множину зазначених вище критеріїв:

$$J = \{J_H; J_K; J_{P1}; J_{P2}; J_R; J_W; J_A; J_{T1}; J_{T2}; J_Q\} \leq J_{ТЗ}, \quad (5)$$

де $J_{ТЗ}$ – функціональні (експлуатаційні) характеристики СППА, задані в ТЗ.

Завдання проектувальника ЗМР при цьому полягає у виборі одного чи декількох складових відношення (5), які відповідають вимогам ТЗ.

У подальшому в роботі у якості основної складової вимог функціонального критерію будемо вважати продуктивність СППА J_Q при виконанні ним пошукових підводних робіт на заданій площі S донної поверхні.

Тоді рівняння існування СППА за критерієм продуктивності буде мати вигляд:

$$J_Q \leq J_{QТЗ}, \quad (6)$$

де $J_{QТЗ}$ [м²/с] – продуктивність СППА, задана в ТЗ.

У якості прикладу розглянемо роботу СППК з борту БСН, що знаходиться на якірній стоянці.

Нехай задана в ТЗ площа пошукових підводних робіт S являє собою прямокутник з шириною a та довжиною b , який вписаний в еліпс площі робочої зони СППА $S_{СППА}$ (зони досяжності апаратом максимально віддалених від БСН точок донної поверхні), як показано на рис. 2.

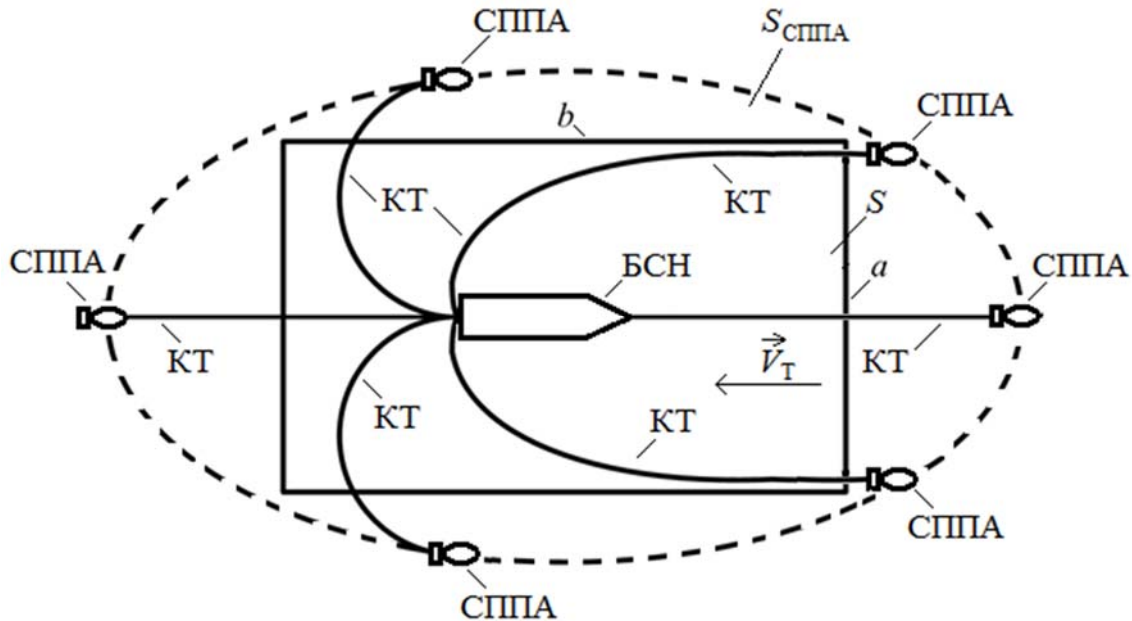


Рисунок 2 – Робоча зона СППА (вид зверху)

Згідно з вимогами ТЗ підводний апарат має провести обстеження заданої площі S за визначений час місії T , рухаючись n паралельними прямолінійними галсами вздовж координати b на глибині H проти підводної течії \vec{V}_T , враховуючи ширину захвату корисного вантажу (КВ) $x_{КВ}$ – відеокамери, гідролокатора тощо.

Крім того, зазвичай, швидкість руху на галсі не може перевищувати $v_{СППАКВ}$ через вимоги до якості роботи КВ. Одночасно відомо, що швидкість руху СППА на галсі знижується через збільшення сили гідродинамічного опору КТ на течії, і при досягнення границі робочої зони $S_{СППА}$ дорівнює нулю [3].

Розглянемо процедуру визначення можливості створення СППА за функціональним критерієм (6). З відношення $n=a/x_{КВ}$ визначимо кількість прямолінійних галсів n , які потрібно зробити СППА для огляду заданої площі S . Сумарна довжина шляху L , яку галсами проти течії з працюючим КВ має пройти СППА, визначатиметься як добуток $L=n \cdot b$.

Шляхом комп'ютерного моделювання [23] визначаємо витрати часу T_M на виконання заданої підводної місії, враховуючи, що одну частину галсу підводний апарат проходить зі швидкістю $v_{СППАКВ}$, а другу частину – з меншою швидкістю, зумовленою збільшенням натягу КТ:

$$T_M = \sum_{i=1}^n (t_i + \Delta t_i),$$

де Δt_i – додаткові витрати часу на перехід з галсу на галс.

Для розглянутого прикладу умова існування СППА за критерієм продуктивності буде мати вигляд:

$$J_Q = \frac{S}{T_M} \leq J_{QTЗ}. \quad (7)$$

Якщо остання умова не виконується, це означає, що потужність РРК СППА необхідно збільшити і з урахуванням (3) повторити перевірку умови (7).

Таким чином, залежності (1)–(6) утворюють систему рівнянь існування СППА як теоретичну основу для ранніх етапів їх проєктування на принципах системного підходу шляхом урахування вимог до їх матеріальних M , енергетичних E , інформаційних I та експлуатаційних (функціональних) J критеріїв.

Аналогічні залежності мають бути створені також для інших елементів СППК – КТ, КЛ, СПІ, БСН. У результаті їх розв’язку отримуємо матрицю $EE_{M,E,I,J}$ базових рішень щодо конструктивних параметрів та експлуатаційних характеристик для основних складових СППК, які дають змогу оцінити можливість їх створення СППК за заданими Замовником обмеженнями (матеріальними M , енергетичними E , інформаційними I та експлуатаційними J критеріями):

$$EE_{M,E,I,J} = \begin{pmatrix} M_{ROV} & M_{TC} & M_{CW} & M_{CD} & M_{USV} \\ E_{ROV} & E_{TC} & E_{CW} & E_{CD} & E_{USV} \\ I_{ROV} & I_{TC} & I_{CW} & I_{CD} & I_{USV} \\ J_{ROV} & J_{TC} & J_{CW} & J_{CD} & J_{USV} \end{pmatrix}; \quad (8)$$

де індекси у позначенні критеріїв $\{M; E; I; J\}$ відповідають складовим СППК за їх англомовними абрєвіатурами.

Зауважимо, що рівняння (6) та нижній рядок матриці (8) є ключовими при оцінках проєктних рішень на ранніх стадіях створення СППК, оскільки здебільшого вони визначають можливість та доцільність його побудови з заданими Замовником конструктивними параметрами та експлуатаційними характеристиками.

Висновки

1. З позицій системного підходу розглянуто процес проєктування безекіпажного самохідного прив’язного підводного комплексу у складі «Самохідний прив’язний підводний апарат – Кабель-трос – Спуско-піднімальний пристрій – Кабельна лебідка – Безекіпажне надводне судно-носії». В основу проєктного аналізу на ранніх стадіях розробки покладено систему рівнянь існування за матеріальними, енергетичними та інформаційними критеріями.

2. На прикладі проєктування безекіпажного самохідного прив’язного підводного апарата вперше запропоновано рівняння існування за інформаційним критерієм, у якому враховано вимоги до оперативного дистанційного керування просторовим рухом підводного апарата та його начіпним обладнанням, передачі телеметричної інформації про поточний технічний стан підводного апарата та підводну обстановку.

3. Уперше запропоновано увести у розгляд функціональний критерій, рівняння існування підводного апарата, який дає змогу оцінювати експлуатаційну ефективність новоствореної підводної робототехніки. Вказаний критерій враховує вимоги до робочої глибини занурення та гідрометеорологічних умов роботи підводного апарата, до кількості обслуговуючого персоналу та зручності його технічного обслуговування, до технічної надійності та впливу на навколишнє середовище, до рівня автоматизації сервісних функцій, транспортування і зберігання, а також до його продуктивності при виконанні типової пошукової підводної місії.

4. Як теоретичне узагальнення отримано матрицю базових рішень щодо конструктивних параметрів та експлуатаційних характеристик основних складових

безекіпажного самохідного прив'язного підводного комплексу, які дають змогу оцінити можливість його створення за заданими Замовником обмеженнями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. М. : Моркнига, 2015. 506 с.
2. Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки: Монографія / С. С. Рижков, В. С. Блінцов, Г. В. Єгоров, Ю. Д. Жуков, В. Ф. Квасницький, К. В. Кошкін, І. В. Кривцун, В. О. Некрасов, В. В. Севрюков, Ю. В. Солоніченко; за ред. С.С. Рижкова. Миколаїв : Видавництво НУК, 2011. 340 с.
3. Блинцов В. С.? Магула В. Э. Проектирование самоходных привязных подводных систем. К. : Наукова думка, 1997. 140 с.
Autonomous vehicles in support of naval operations. National Research Council (U.S.). Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations. Washington, D.C. : National Academies Press, 2005. URL: <https://www.worldcat.org/title/autonomous-vehicles-in-support-of-naval-operations/oclc/559891694>
4. Блінцов В. С., Ключков О. П. Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення. *Підводні технології*. 2016. Вип. 3. С. 25–30.
5. Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen. Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication. Publisher: Marine Advanced Technology Edu; 1st edition, 2010. 770 p.
6. Управління успішними проектами створення складної техніки : монографія. Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов, Є. А. Дружинін, С. Г. Кійко, Н. Р. Книрик, К. В. Кошкін, Д. М. Крицький, С. С. Рижков, С. О. Слободян, Т. А. Фаріонова. Миколаїв : Видавництво Торубари В. В., 2017. 336 с.
7. Milne P. H. Underwater Engineering Surveys. Gulf Publishing Company, 1980. 366 p.
8. Ястребов В. С., Соколов Г. П., Смирнов А. В. и др. Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований : справочник. Л. : Судостроение, 1981. 304 с.
9. Witold Jacak. Intelligent robotic Systems: design, planning, and control. *International Federation for Systems Research International Series on Systems Science and Engineering*. Volume 14. Kluwer Academic Publishers, 1999. 310 p.
10. Rowinski, L. Pojazdy glebinowe. Budowa i wyposazenie. Gdansk : Przedsiębiorstwo Prywatne «WiB», 2008. 593 p.
11. Robert D. Christ, Robert L. Wernli. The ROV manual: a user guide to observation-class remotely operated vehicles. Butterworth-Heinemann, 2011. 320 p. URL: <https://www.amazon.com/ROV-Manual-Observation-Remotely-Operated-ebook/dp/B006NVY3YY>
12. Yasser M. Ahmeda, Omar Yaakoba, Bong K. Sun. Design of a New Low Cost ROV Vehicle. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. 2014. P. 27–32.
13. Vasantharaj R., Paravastu Vaidehi, Shobana M., Loganayaki S. Remotely Piloted Unmanned Underwater Vehicle Design and Control for Pipeline Maintenance. *Proceedings of National Conference on Man Machine Interaction*, 2014. Pages 40–43.
14. Underwater Robots. Motion and Force Control of Vehicle-Manipulator Systems. Springer, 2006. 265 p.
15. Нужный С. Н. Особенности проектирования кабель-тросов для малогабаритных самоходных привязных подводных аппаратов. *Електромашинобудування та електрообладнання : республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник*. Одеса, 1998. Вип. 51. С.99–103.
16. Костенко В. В., Мокеєва І. Г. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата. *Подводные исследования и робототехника*. 2009. № 1 (7). С. 22– 27.

17. Szymak P., Małeck J. Control System of Underwater Vehicle Based on Artificial Intelligence Methods. *Automation and Robotics*. 2008. P. 285–296.
18. Eirik Hexeberg Henriksen, Ingrid Schjølberg, Tor Berge Gjersvik. Adaptable Joystick Control System for Underwater Remotely Operated Vehicles. – IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd., 2016. Papers OnLine 49–23. Pages 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.338>
19. Вельтищев В., Кропотов А., Челышев В. Автоматизация проектирования подводных телеуправляемых комплексов. *Современные технологии автоматизации*. 1997. № 2. С. 50–52.
20. Yung-Lien Wang & Chang-Yu Lu. Design and parameter estimation of a remotely operated underwater vehicle. *Journal of Marine Engineering & Technology*. 2012. 11:2. P. 39–48. <https://doi.org/10.1080/20464177.2012.11020265>
21. Dudykevych, V., Oleksandr, B. Tasks statement for modern automatic control theory of underwater complexes with flexible tethers. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2016. P. 25–36. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2016.00158>
22. Блінцов О. В. Системи автоматичного керування рухом підводних комплексів з гнучкими зв'язками. Миколаїв : Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2018. 251 с.
23. Вашедченко А. Н., Иванишин Б. П., Цыбенко Б. А. Уравнения существования подводных роботов. *Сб. научных трудов*. Николаев : НКИ, 1979. С. 17–24.
24. Клочков О. П. Оцінка можливості створення самохідної прив'язної підводної системи на основі рівнянь існування. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв : НУК, 2016. С. 352–354.

REFERENCES

1. Voytov D.V. Telepravlyaemye neobitaemye podvodnyie apparaty. – М. : MORKNIGA, 2015. – 506 p.
2. Stvorenniya universal'ny'x transportny'x suden i zasobiv okeanotekhniki': Monografiya / S.S. Ry'zhkov, V.S. Blintsov, G.V. Yegorov, Yu.D. Zhukov, V.F. Kvasny'cz'ky'j, K.V. Koshkin, I.V. Krivczun, V.O. Nyekrasov, V.V. Cevryukov, Yu.V. Solonichenko; za red. S.S. Ry'zhkova. – My'kolayiv: Vy'davny'cz'tvo NUK, 2011. – 340 p.
3. Blintsov V.S., Magula V.E. Proektirovanie samohodnyih privyaznyih podvodnyih sistem. – К. : Naukova dumka, 1997. – 140 p.
4. Autonomous vehicles in support of naval operations. National Research Council (U.S.). Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations. Washington, D.C. : National Academies Press, 2005. <https://www.worldcat.org/title/autonomous-vehicles-in-support-of-naval-operations/oclc/559891694>
5. Blintsov, V.S. Rivnyannya isnuvannya samoxidnoyi pry'v'yaznoyi pidvodnoyi sy'stemy` yak ocinka mozhly`vosti yiyi stvorenniya [Tekst] / V.S. Blintsov, O.P. Klochkov // – Zhurnal «Pidvodni tekhnologii», vy`p. 3, 2016. – 25-30 pp.
6. Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen. Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication. Publisher: Marine Advanced Technology Edu; 1st edition, 2010. – 770 pages.
7. Upravlinnya uspishny`my` proektamy` stvorenniya skladnoyi tekhniki` : Monografiya / G. V. Babkin, V. S. Blintsov, Ye. A. Druzhy`nin, S. G. Kijko, N. R. Kny`rik, K. V. Koshkin, D. M. Kry`cz'ky'j, S. S. Ryzhkov, S. O. Slobodyan, T. A. Farionova. — My'kolayiv : Vy'davny'cz'tvo Torubary` V. V., 2017. — 336 p.
8. Milne P. H. Underwater Engineering Surveys. Gulf Publishing Company, 1980. – 366 Pages.

9. Sistemy i elementy glubokovodnoy tehniki podvodnyih issledovaniy: Spravochnik / V. S. Yastrebov, G. P. Sobolev, A. V. Smirnov i dr. – L.: Sudostroenie, 1981. – (tehnika osvoeniya okeana). – 304 p.
10. Witold Jacak. Intelligent robotic Systems: design, planning, and control. International Federation for Systems Research International Series on Systems Science and Engineering. Volume 14. Kluwer Academic Publishers, 1999. – 310 Pages.
11. Rowinski, L. Pojazdy glebinowe. Budowa i wyposazenie [Text] / L. Rowinski. – Gdansk: Przedsiębiorstwo Prywatne «WiB», 2008. – 593 p.
12. Robert D. Christ, Robert L. Wernli. The ROV manual: a user guide to observation-class remotely operated vehicles. – Butterworth-Heinemann, 2011 – 320 Pages. <https://www.amazon.com/ROV-Manual-Observation-Remotely-Operated-ebook/dp/B006NVY3YY>
13. Yasser M. Ahmeda, Omar Yaakoba, Bong K. Sun. Design of a New Low Cost ROV Vehicle. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 2014. – Pp. 27-32. file:///C:/Users/volodymyr.blintsov/Downloads/3262-8705-1-PBProf_112.pdf
14. Vasantharaj R., Paravastu Vaidehi, Shobana M., Loganayaki S. Remotely Piloted Unmanned Underwater Vehicle Design and Control for Pipeline Maintenance. Proceedings of National Conference on Man Machine Interaction, 2014. – Pages 40-43.
15. Underwater Robots. Motion and Force Control of Vehicle-Manipulator Systems. Springer, 2006. – 265 Pages.
16. 8. Nuzhnyiy S.N. Osobennosti proektirovaniya kabel-trosov dlya malogabaritnyih samohodnyih privyaznyih podvodnyih apparatov // Respublikanskiy mlzhvIdomchiy naukovotekhnichniy zbirnik „Elektromashinobuduvannya ta elektroobladnannya». – Odesa. 1998.– Vip. 51.– S.99-103.
17. Kostenko V.V., Mokeeva I.G. Issledovanie vliyaniya kabelya svyati na manevrennost teleupravlyаемого podvodnogo aparata. – «Podvodnyie issledovaniya i robototekhnika», 2009. – #1(7). – 22- 27 pp.
18. Szymak P., Małcki J. Control System of Underwater Vehicle Based on Artificial Intelligence Methods. – Automation and Robotics, 2008. 285-296.
19. Eirik Hexeberg Henriksen, Ingrid Schjølberg, Tor Berge Gjersvik. Adaptable Joystick Control System for Underwater Remotely Operated Vehicles. – IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd., 2016. – PapersOnLine 49-23. – Pages 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.338>
20. Veltischev V., Kropotov A., Chelyshev V. Avtomatizatsiya proektirovaniya podvodnyih teleupravlyаемыh kompleksov. – «Sovremennyye tehnologii avtomatizatsii», 1997. – #2. – 50-52 pp.
21. Yung-Lien Wang & Chang-Yu Lu. Design and parameter estimation of a remotely operated underwater vehicle. Journal of Marine Engineering & Technology, 2012. 11:2, 39-48 Pages. <https://doi.org/10.1080/20464177.2012.11020265>
22. Dudykevych, V., Oleksandr, B. Tasks statement for modern automatic control theory of underwater complexes with flexible tethers. EUREKA: Physics and Engineering, 2016. – 25–36 Pages. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2016.00158>
23. Blintsov O.V. Sy`stemy` avtomaty`chnogo keruvannya ruxom pidvodny`x kompleksiv z gnuchky`my` zv`yazkamy`. My`kolayiv : Nacional`ny`j universy`tet korablebuduvannya imeni admirala Makarova, 2018. – 251 p.
24. Vashedchenko A.N., Ivanishin B.P., Tsyibenko B.A. Uravneniya suschestvovaniya podvodnyih robotov. Sb. nauchnyih trudov, Nikolaev, NKI, 1979. 17-24 pp.
25. Klochkov, O.P. Ocinka mozhy`vosti stvorenniya samoxidnoyi pry`v`yaznoyi pidvodnoyi sy`stemy` na osnovi rivnyan` isnuvannya [Tekst] / O.P. Klochkov // Innovatsiyi v

sudnobuduvanni ta okeanotexnici: Materialy` VII mizhnarodnoyi naukovo-texnichnoyi konferenciyi. – My`kolayiv: NUK, 2016. – 352-354 pp.

Блинцов В. С., Клочков А. П. ПРОЕКТНЫЕ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ БЕЗЭКИПАЖНОГО САМОХОДНОГО ПРИВЯЗНОГО ПОДВОДНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Приведено обоснование системного подхода создания безэкипажного самоходного привязного подводного комплекса на ранних стадиях проектирования как эффективного инструмента для проведения подводно-технических работ. Основой системного подхода являются уравнения существования по материальной, энергетической и информационной составляющим. Рассмотрена взаимосвязь и влияние на эти составляющие четвертого фактора, которые объясняются с позиций функциональной целесообразности создания элементов безэкипажного самоходного привязного подводного комплекса и базируется на уравнениях существования, освещающих эксплуатационную сторону работы привязного подводного аппарата. Объяснено, что не все эксплуатационные особенности возможно предоставить в числовом виде, а есть только возможность предоставить их описание и определить влияние на работу комплекса в целом. В качестве примера представлена работа комплекса на якорной стоянке с расчетом затрат времени, которое является численной функциональной составляющей на обследование определенной площади донной поверхности.

Ключевые слова: самоходный привязной подводный комплекс, системный подход, кабель-трос, уравнения существования.

Blintsov V. S., Klochkov O. P. THE PROJECT TASKS OF UNMANNED SELF-PROPELLED TETHERED UNDERWATER COMPLEX CREATION BASED ON THE SYSTEM APPROACH

The rationale for a systematic approach to creating an unmanned self-propelled tethered underwater complex in the early design stages as an effective tool for carrying out underwater technical works is given. The basis of the systems approach is the equations of existence for the material, energy and information components. The interrelation and influence on these components of the fourth factor are considered, which are explained from the point of view of the functional expediency of creating elements of an unmanned self-propelled tethered underwater complex and is based on the equations of existence that illuminate the operational side of the tethered underwater vehicle. It was explained that not all operational features can be provided in numerical form, but there is only an opportunity to provide their description and determine the impact on the operation of the complex as a whole. As an example, the work of the complex at the anchorage with the calculation of time, which is a numerical functional component, is presented for examining a certain area of the bottom surface.

Keywords: self-propelled tethered underwater complex, system approach, cable-cable, equations of existence.

© Блінцов В.С., Клочков О.П.

Статтю прийнято
до редакції 22.12.18