

Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення

Володимир Блінцов¹, Олександр Клочков²

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
просп. Героїв Сталінграду, 9, Миколаїв, Україна, 54025
oleksandr.klochkov@nuos.edu.ua

¹orcid.org/0000-0002-3912-2174, ²orcid.org/0000-0002-6426-3374

Анотація. Наведено системний підхід, що передбачає оцінку можливості створення на етапі раннього проектування технічних пристроїв, базуючись на рівняннях існування чотирьох ключових складових – людина, матерія, енергетика, інформація. Особлива увага приділяється рівнянню існування самохідної прив'язної підводної системи за енергетичною складовою, що значною мірою визначає її експлуатаційні характеристики.

Ключові слова: самохідна прив'язна підводна система, кабель-трос, судно-носії, пост енергетики та керування, самохідний прив'язний підводний апарат.

ВСТУП

Для можливості визначення існування шляхів реалізації проекту створення самохідної прив'язної підводної системи (СППС) згідно завдання замовника на ранніх стадіях необхідно мати жорсткі залежності між чисельними значеннями параметрів, що надаються у завданні та характеристиками, якими буде наділена система при досягненні цих параметрів. Конструктор-проектант при користуванні цими залежностями може дати чітку відповідь замовнику про доцільність побудови СППС згідно параметрів завдання, що було отримано. Стосовно таких систем розглянуті рівняння існування

мас та об'ємів, але відсутнє комплексне рішення, що враховувало б всі складові системного підходу – енергетику, інформацію, матерію та людину [3, 4, 10, 11, 21].

МЕТА ТА МЕТОДИ

Отримання рівнянь існування для СППС у взаємному зв'язку експлуатаційних параметрів та конструктивних характеристик.

Синтез рівнянь пропонується виконувати спочатку в рамках кожної складової, а потім ускладнювати їх, додаючи рівняння, які показують взаємний вплив складових одна на одну [13, 18, 20, 22].

РЕЗУЛЬТАТИ

Згідно системного підходу рівняння мають складатися з 4-х рівнянь чи систем:

- рівняння існування мас та об'ємів СППС;
- рівняння енергетичного балансу СППС;
- рівняння балансу інформаційних потоків СППС (електромагнітна сумісність, стійкість до зовнішніх полів та випромінювання, завадостійкість, криптографічний захист інформаційних потоків);
- рівняння СППС за людським фактором (ергономіка, технічне обслуговування, зберігання, екологія - вплив на середовище,

транспортування, низькі власні фізичні поля).

При проведенні підводно-технічних робіт (ПТР) в залежності від підводної технології, що використовується підводним апаратом (ПА), останній може працювати у різних режимах, що характеризуватимуться певним значенням споживаної електричної потужності [2, 5, 6, 14, 19]. Позначимо множину режимів R наступним виразом:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m\}, \quad (1)$$

де R_1 – перший режим роботи;

R_i – проміжний режим роботи;

R_m – кінцевий у множині режим роботи.

Множині режимів буде відповідати множина потужностей P_R , що споживаються у цих режимах:

$$P_R = \{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\}, \quad (2)$$

де P_{R1} – потужність, що споживається у першому режимі роботи;

P_{Ri} – потужність, що споживається у проміжному режимі роботи;

P_{Rm} – потужність, що споживається у кінцевому у множині режимі роботи.

Згідно з режимами робіт ПА, що будуть розглядатися, визначиться найбільша проектна потужність $P_{ПА_ПР}$ з множини:

$$P_{ПА_ПР} = \sup\{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\} \quad (3)$$

Якщо задана потужність $P_{ПА_ЗАМ}$ буде меншою від проектної, тоді будівництво ПА за даним критерієм буде можливим:

$$P_{ПА_ЗАМ} \leq \sup\{P_{ПА_ПР}\} \quad (4)$$

У свою чергу, замовник може надавати для СППС обмежену потужність, що виділяється на судні-носії (СН) чи при якомусь іншому варіанті живлення. Виходячи з цього, у глобальному розумінні умовою створення системи є більше значення проектної потужності у порівнянні з потужністю СППС, що задана замовником:

$$P_{СППС_ЗАМ} \leq P_{СППС_ПР} \quad (5)$$

Наведена потужність матиме складові, що містять потужність посту енергетики та керування (ПЕК) $P_{ПЕК}$, потужність спуско-піднімального пристрою (СПП) $P_{СПП}$, потужність кабельної лебідки (КЛ) $P_{КЛ}$, проектну потужність ПА $P_{ПА_ПР}$ та величину втрати потужності ΔP :

$$P_{СППС_ЗАМ} = P_{ПЕК} + P_{СПП} + P_{КЛ} + P_{ПА_ПР} + \Delta P \quad (6)$$

Потужність ПА складається з потужності елементів, що отримують живлення на протязі всього часу проведення ПТР, а саме P_{CONST} , потужності змінних технологічних пристроїв $P_{ЗТП}$ [17] та потужності рушійно-рульового комплексу (РРК) $P_{РРК}$.

$$P_{ПА_ПР} = P_{const} + P_{ЗТП} + P_{РРК} \quad (7)$$

Цікавість являє собою потужність РРК, так як вона є варіативною величиною. Прийmemo, що в конструкції ПА присутні три рушія – два маршові та один вертикальний. Тоді потужність РРК запишеться як:

$$P_{РРК} = \sup \left\{ \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N P_{ij} \right\} \quad (8)$$

де i – лічильник рушіїв ПА;

j – лічильник режимів роботи РРК ПА;

N – загальна кількість можливих режимів роботи РРК ПА.

Якщо розкласти потужність РРК по складових, то отримаємо потужність маршового P_{xj} , вертикального P_{yj} та лагового P_{zj} рухів у разі додавання лагового рушія.

Це матиме вигляд:

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} P_{xj} \\ P_{yj} \\ P_{zj} \end{vmatrix}_i \quad (9)$$

Потужність маршового руху буде функцією від сили лобового опору ПА $F_{ПА}$ та сили гідродинамічного опору кабель-тросу (КТ) $F_{КТx}$ по вісі x , а потужність вертикального руху – від сили гідродинамічного опору КТ $F_{КТy}$ по вісі y .

$$\begin{aligned} P_{xj} &= f(F_{ПА}; F_{КТx}) \\ P_{yj} &= f(F_{КТy}) \end{aligned} \quad (10)$$

Обидва гідродинамічні опори є функцією діаметру КТ, який розраховується наступним чином [1, 8, 9, 12, 16]:

$$d_{КТ} = 2 \cdot \left[k_{PW} \cdot \left(\sqrt{\frac{P_{ПА_ПР}}{\pi \cdot j_w \cdot n \cdot U_{ж}}} + \delta_w \right) + \delta_{ТС} \right] \quad (11)$$

де $U_{ж}$ – напруга мережі живлення ПА;
 j_w – обрана густина струму у провіднику;
 n – кількість жил;
 $k_{PW}(n)$ – коефіцієнт укладення силових жил у сердечнику КТ;
 δ_w – товщина електричної ізоляції силової жили КТ;
 $\delta_{ТС}$ – товщина зовнішньої оболонки КТ.

Упор j -го гвинта, що виступає у якості рушія, визначається за наступною формулою:

$$T_j = \frac{\rho \cdot K_{Tj} \cdot \omega_j^2 \cdot D_j^4}{4 \cdot \pi^2}, \quad (12)$$

де ρ – густина морської води;
 K_{Tj} – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує упор j -го гвинта;
 ω_j – кутова швидкість обертання j -го гвинта ПА;
 D – діаметр j -го гвинта.

Момент, який створює j -й гвинт на валу електродвигуна знаходиться наступним чином:

$$M_j = \frac{\rho \cdot K_{Mj} \cdot \omega_j^2 \cdot D_j^5}{4 \cdot \pi^2}, \quad (13)$$

де K_{Mj} – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує момент j -го гвинта.

Потужність на валу j -го виконавчого двигуна, що приводить у рух гвинт, має вираз:

$$P_j = \frac{M_j \cdot \omega_j}{\eta_j}, \quad (14)$$

де η_j – коефіцієнт корисної дії j -го виконавчого двигуна.

Напруга живлення СППС може бути змінною та постійною і організована за різними схемотехнічними рішеннями [7, 15].

Рекомендовані значення напруги для живлення ПА зведені у Табл. 1.

Таблиця 1. Рекомендовані значення напруги для живлення підводного апарата

Table 1. Recommended voltage for powering underwater vehicle

–	Змінна		Постійна
Вид мережі	Одна фаза	Три фази	–
Напруга, В	240	400, 480, 690, 1000	110, 220, 400

Алгоритм визначення діаметру КТ наведено на Рис. 1.

Згідно алгоритму вхідними даними для розрахунку є глибина занурення ПА H , швидкість течії v_T , заданий проєктантом орієнтовний діаметр КТ $d_{КТЗ}$, координати корінного $(x, y)_{КК}$ та ходового $(x, y)_{ХК}$ кінців. На базі вхідних даних підпрограмами послідовно визначаються сили на корінному та ходовому кінцях КТ, потужності рушіїв та вираховується сумарна потужність РРК.

Вводячи додаткові дані, розраховується діаметр КТ. У випадку, якщо він буде більше заданого відбувається ітерація спочатку зі змінною значення напруги чи густини струму. Значення діаметру, яке менше чи дорівнює заданому закінчує виконання розрахунку.

Також, окрім діаметру КТ, важлива його довжина, так як вона визначає крайні точки робочої зони, яких апарат може досягти на певній глибині занурення. Довжина КТ орі-

ентовно для заданої глибини занурення знаходиться за виразом:

$$L_{КТ} = (2 \dots 2,5) \cdot H, \quad (15)$$

де H – задана глибина занурення.

Крім того, на визначеній глибині занурення ПА, між корінним та ходовим кінцем КТ існує одна і тільки одна довжина, коли його гідродинамічний опір мінімальний.

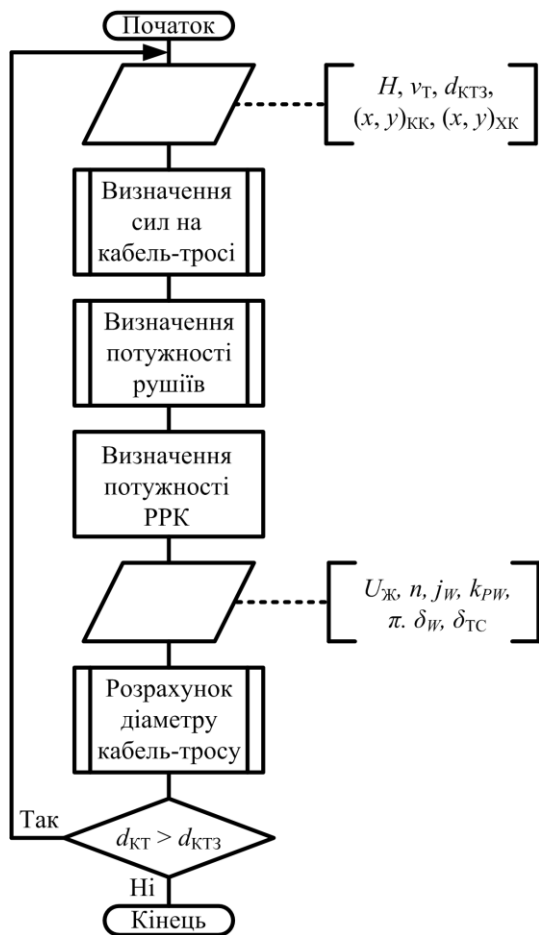


Рис. 1. Алгоритм визначення діаметру кабель-троса

Fig. 1. Algorithm for calculation the diameter of the cable-tether

Підсумовуючи вище наведене, потрібно звернути увагу, що синтез рівнянь по кожній складовій системного підходу не надасть вичерпну відповідь про можливість створення як безпосередньо апарата, так і інших об'єктів самохідної прив'язної підводної системи. Це, у першу чергу, пояснюється взаємним зв'язком рівнянь існу-

вання і визначити до кінця вплив однієї складової на іншу не завжди вдасться. По-друге, не всі рівняння можливо представити для чисельного вирахування, тому що, наприклад, ергономічна частина не піддається конкретному чисельному опису, а визначається суб'єктивним відчуттям кожної людини. У свою чергу, інформаційна складова може передаватися по енергетичному каналу КТ, що дозволяє зменшити його діаметр, а вимоги до матеріалу, з якого виконуються елементи СППС визначають їх масу та об'єм.

ВИСНОВКИ

Для проектування СППС на ранніх етапах сформульовано наступні теоретичні положення.

1. Доцільність побудови СППС, як будь-якої технічної системи, можливо базувати на системному підході, що передбачає синтез рівнянь існування за енергетичною, інформаційною, матеріальною та людською складовими.

2. Рівняння існування СППС за енергетичною складовою є першочерговим критерієм, що визначає експлуатаційні характеристики системи – площу робочої зони, глибину занурення, та тісно впливає на вигляд рівнянь існування відносно інших складових.

ЛІТЕРАТУРА

1. Блинцов В.С., 1998. Привязные подводные системы. Киев, Наук. думка, 230.
2. Блинцов В.С., Магула В.Э., 1997. Проектирование самоходных привязных подводных систем. Киев, Наукова думка, 140.
3. Вашедченко А.Н., 1991. Определение главных элементов подводного аппарата: учебное пособие. Николаев, НКИ, 65.
4. Вашедченко А.Н., Иванишин Б.П., Цыбенко Б.А., 1979. Уравнения существования подводных роботов. Сб. научных трудов, Николаев, НКИ, 17-24.
5. Виноградов Н.И., Гутман М.Л., Лев И.Г., Нисневич М.З., 2000. Привязные подводные системы. Прикладные задачи статики и

- динамики: учебник, Санкт-Петербург, ГТУ, 324.
6. **Грейнер Л., 1978.** Гидродинамика и энергетика подводных аппаратов. Пер. с англ. Ленинград, Судостроение, 384.
 7. **ГОСТ 29322-92.** Стандартные напряжения, 8.
 8. **Дмитриев А.Н., 1978.** Проектирование подводных аппаратов: учебник. Ленинград, Судостроение, 235.
 9. **Иконников И.Б., 1986.** Самоходные необитаемые подводные аппараты. Ленинград, Судостроение, 264.
 10. **Илларионов Г.Ю., 1990.** Необитаемые подводные аппараты и их системы. Учебник, Владивосток, Изд-во Дальневост. ун-та, 56.
 11. **Казарезов А.Я., Галь А.Ф., Пишнев С.М., 2005.** Проектування пристроїв і систем підводних апаратів: навч. посіб., Миколаїв, НУК, Ч. I., 164.
 12. **Костенко Д.В., 2003.** Вплив конструктивних параметрів прив'язних підводних систем на їхні експлуатаційні характеристики. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 механіка та конструювання суден. Український державний морський технічний університет, Миколаїв.
 13. **Ракитин, И.Я., 2002.** Подводные робототехнические системы для исследований океана. Москва, НИП Море, 191.
 14. **Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Соколик М.Г., 2000.** Гидродинамический расчёт самоходных подводных аппаратов: учеб. пособие, Николаев, УГМТУ, 93.
 15. **Филоженко А.Ю., 2010.** Система электрообеспечения привязных необитаемых подводных объектов: автореф. дис. к.т.н. 19.11.2010. Владивосток, ДВГТУ, 20.
 16. **Хаукс Г., 1979.** Подводная техника. Пер. с англ. Ленинград, Судостроение, 288.
 17. **Шостак В.П., 2011.** Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы. Чикаго, Мегатрон, 134.
 18. **Юревич Е.И., 2001.** Проектирование технических систем. Санкт-Петербург, ГТУ, 81.
 19. **Ястребов В.С., Горлов А.А., Симинский В.В., 1986.** Электроэнергетические установки подводных аппаратов. Ленинград, Судостроение, 208.
 20. **Ястребов В.С., Соболев Г.П., Смирнов А.В., 1981.** Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований: справочник. Ленинград, Судостроение, 304.
 21. **Безверхий О., Корнієнко В., 2015.** Дослідження впливу нелінійно-пружних характеристик матеріалу на динаміку підводних тросових систем. Підводні технології, Вип.02, 59-65.
 22. **Безверхий О., 2015.** Динаміка підводних розгалужених тросових систем. Підводні технології, Вип.01, 50-58.

REFERENCES

1. **Blintsov V.S., 1998.** Privjaznye podvodnye sistemy. Kyiv, Naukova dumka Publ., 230 (in Russian).
2. **Blintsov V.S., Magula V.E., 1997.** Proektirovanie samohodnyh privjaznyh podvodnyh sistem. Kiev, Naukova dumka Publ., 140 (in Russian).
3. **Vashedchenko A.N., 1991.** Opredelenie glavnyh elementov podvodnogo apparata. Uchebnoe posobie. Nikolaev, NKI, 65 (in Russian).
4. **Vashedchenko A.N., Ivanishin B.P., Cybenko B.A., 1979.** Uravnenija sushhestvo-vanija podvodnyh robotov. Sb. nauchnyh trudov, Nikolaev, NKI, 17-24 (in Russian).
5. **Vinogradov N.I., Gutman M.L., Lev I.G., Nisnevich M.Z., 2000.** Privjaznye podvodnye sistemy. Prikladnye zadachi statiki i dinamiki. Uchebnyk. Sankt-Peterburg, GTU, 324 (in Russian).
6. **Grejner L., 1978.** Hidrodinamika i energetika podvodnyh apparatov. Per. s angl. Leningrad, Sudostroenie, 384 (in Russian).
7. **GOST 29322-92.** Standartnye naprjazhenija, 8. (in Russian).
8. **Dmitriev A.N., 1978.** Proektirovanie podvodnyh apparatov. Uchebnyk, Leningrad. Sudostroenie, 235. (in Russian)
9. **Ikonnikov I.B., 1986.** Samohodnye neobitaemye podvodnye apparaty. Leningrad, Sudostroenie, 264 (in Russian).
10. **Illarionov G.JU., 1990.** Neobitaemye podvodnye apparaty i ih sistemy. Uchebnyk, Vladivostok, Izd-vo Dalnevost. Univ., 56 (in Russian).
11. **Kazarezov A.JA., Gal' A.F., Pyshnev S.M., 2005.** Proektuvannja prystroi'v i system pidvodnyh aparativ. Navchal'nyj posibnyk, Mykolaiv, NUK, Ch. I., 164 (in Ukrainian).
12. **Kostenko D.V., 2003.** Vplyv konstruktyvnyh parametriv pryv'jaznyh pidvodnyh system na i'hni ekspluatacijni harakterystyky. Dysertacija na zdobuttja naukovogo stupenja kandydata tehnicnyh nauk za special'nistju 05.08.03 mehanika ta konstruuvannja suden. Ukrai'ns'kyj derzhavnyj mors'kyj tehnicnyj universytet, Mykolaiv (in Ukrainian).

13. **Rakitin, I.JA., 2002.** Podvodnye robototekhnicheskie sistemy dlja issledovanij okeana. Moskva, NIP More, 191 (in Russian).
14. **Slizhevskij N.B., Korol Ju.M., Sokolik M.G., 2000.** Gidrodinamicheskij raschjot samohodnyh podvodnyh apparatov. Uchebnoe posobie, Nikolaev, UGMTU, 93 (in Russian).
15. **Filozhenko A.JU., 2010.** Sistema elektrosnabzhenija privjaznyh neobitaemyh podvodnyh objektov: avtoref. dis. k.t.n. 19.11.2010. Vladivostok, DVG TU, 20 (in Russian).
16. **Hauks G., 1979.** Podvodnaja tehnika. Per. s angl. Leningrad, Sudostroenie, 288 (in Russian).
17. **Shostak V.P., 2011.** Podvodnye apparaty-roboty i ih manipuljatory. Chicago, Megatron Publ., 134 (in Russian).
18. **Jurevich E.I., 2001.** Proektirovanie tehniceskij system. Sankt-Peterburg, GTU, 81. (in Russian).
19. **Jastrebov V.S., Gorlov A.A., Siminskij V.V., 1986.** Jelektroenergeticheskie ustanovki podvodnyh apparatov. Leningrad, Sudostroenie, 208 (in Russian).
20. **Jastrebov V.S., Sobolev G.P., Smirnov A.V., 1981.** Sistemy i elementy glubokovodnoj tehniki podvodnyh issledovanij. Spravochnik, Leningrad, Sudostroenie, 304 (in Russian).
21. **Bezverkhyi O., Korniienko V., 2015.** Investigation of the influence of nonlinear elastic characteristics of the material on the dynamics of submarine cable systems. Pidvodni tehnologii', Vyp.02, 59-65 (in Ukrainian).
22. **Bezverhyj O., 2015.** Dynamika pidvodnyh rozgaluzhenykh trosovykh system. Pidvodni tehnologii', Vyp.01, 50-58 (in Ukrainian).

Equations of existence selfpropelled underwater system as assessment of the possibility of its creation

Volodymyr Blintsov¹, Oleksandr Klochkov²

Admiral Makarov

National University of Shipbuilding,
Geroiv Stalingradu prosp., 9, Mykolaiv, Ukraine,
54025, oleksandr.klochkov@nuos.edu.ua

¹orcid.org 0000-0002-3912-2174,

²orcid.org 0000-0002-6426-3374

Summary. An systemic approach of creating an assessment opportunities during the early design of technical devices based on the equations of existence four key components - people, material, energy, information is presented. Particular attention is allocated to the equation of existence self-propelled tethered underwater systems for the energy component, which largely determines its performance.

Key words: self-propelled tethered underwater system, cable-tether, support vessel, control cabin, self-propelled remote operated vehicle.