

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ПРОЄКТУВАННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Монографія

*За редакцією доктора технічних наук,
професора В. С. Блінцова*

У трьох частинах

Частина 1
САМОХІДНІ ПРИВ'ЯЗНІ ПІДВОДНІ СИСТЕМИ

Миколаїв
«Іліон»
2023

РЕЦЕНЗЕНТИ :

НЕКРАСОВ В. О., завідувач кафедри теорії та проектування суден Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор;
БЕНЬ А. П., проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, канд. техн. наук, професор

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова
(протокол № 5 від 29 червня 2023 р.)*

Проектування засобів морської робототехніки на основі
П 79 системного підходу : монографія : у 3 ч. / за ред. д-ра техн. наук, проф. В. С. Блінцова. — Миколаїв : Іліон, 2023 — .

ISBN 978-617-534-676-1

Ч. 1 : Самохідні прив'язні підводні системи / В. С. Блінцов, О. П. Клочков, В. А. Надточій, А. В. Надточій. — 2023. — 164 с.

ISBN 978-617-534-677-8

У серії монографій з трьох частин викладено теоретичні основи проектування засобів морської робототехніки на ранніх етапах її розробки, які ґрунтуються на принципах системного підходу та використанні рівнянь існування.

Перша частина присвячена проектуванню самохідних прив'язних підводних систем. Надано загальну характеристику системного підходу як методологічної основи для створення такого виду засобів морської техніки. Теоретичні викладки супроводжуються прикладами їх практичного застосування при внутрішньому проектуванні самохідних прив'язних підводних систем.

Для наукових співробітників, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів та конструкторів, які досліджують, вивчають та проектують засоби морської робототехніки.

УДК 629.584

ISBN 978-617-534-676-1
ISBN 978-617-534-677-8 (ч. 1)

© Блінцов В. С., Клочков О. П.,
Надточій В. А., Надточій А. В., 2023

З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
Розділ 1 САМОХІДНІ ПРИВ'ЯЗНІ ПІДВОДНІ СИСТЕМИ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЇХ ПРОЄКТУВАННЯ	
1.1 Склад та класифікація сучасних СППС.....	8
1.2 Сучасні наукові школи з проєктування СППС.....	36
1.3 Постановка задачі удосконалення проєктування СППА на основі системного підходу	39
Розділ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ	
2.1 Основні складові процесу проєктування СППС з позицій системного аналізу	40
2.2 Загальна характеристика системного підходу як методологічної основи для створення сучасних засобів підводної техніки.....	42
2.3 Етапи проєктування СППС	48
2.4 Математичне моделювання як інструментарій для оперативної перевірки ефективності проєктних рішень при розробці СППС	52
Розділ 3 СИНТЕЗ РІВНЯНЬ ІСНУВАННЯ САМОХІДНОЇ ПРИВ'ЯЗНОЇ ПІДВОДНОЇ СИСТЕМИ	
3.1 Загальні положення стосовно синтезу рівнянь існування СППС суднового базування	63
3.2 Рівняння існування мас і об'ємів СППС	66
3.3 Рівняння існування енергетичного балансу СППС	69
3.4 Рівняння існування балансу інформаційних потоків СППС	75
3.5 Рівняння існування СППС за функціональною складовою	82

Розділ 4 РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МЕТОДИКИ ПРОЄКТУВАННЯ САМОХІДНОЇ ПРИВ'ЯЗНОЇ ПІДВОДНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ	
4.1 Узагальнена методика проєктування безекіпажної СППС на основі системного підходу	89
4.2 Проєктні задачі енергоживлення одноланкових СППС	97
4.3 Особливості проєктування СППС для гуманітарного розмінування акваторій на основі взаємозв'язку параметрів рівнянь існування	112
4.4 Успішні практики застосування розробленої методики проєктування СППС	116
ВИСНОВКИ	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	137
Додаток А. Характеристики самохідних прив'язних підводних апаратів і систем виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова	149

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГСО.....	гідролокатор секторного огляду
КВ.....	корисний вантаж
КНПА.....	корабельний ненаселений підводний апарат
КТ.....	кабель-трос
ЛКТ.....	лебідка кабель-троса
МЛКТ.....	малогабаритна лебідка кабель-троса
НО.....	начіпне обладнання
НУК.....	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ОПР.....	особа, що приймає рішення
ПГ.....	підводний гараж
ПЕК.....	пост енергетики та керування
ППНО.....	підводний потенційно небезпечний об'єкт
ПТР.....	підводно-технічна робота
РКК.....	рушійно-кермовий комплекс
РП.....	рушійний пристрій
СН.....	судно-носій
СПП.....	спуско-піднімальний пристрій
СППС.....	самохідна прив'язна підводна система
СППА.....	самохідний прив'язний підводний апарат
ТЗ.....	технічне завдання
CD.....	Cargo Device
CED.....	Control and Energy Device
СТ.....	Cable-Tether
ROV.....	Remotely Operated Vehicle
WCT.....	Winch of Cable-Tether

В С Т У П

Самохідні прив'язні підводні системи (СППС) утворюють окремий клас засобів підводної робототехніки для дослідження і освоєння ресурсів Світового океану. Вітчизняний і світовий досвід застосування СППС свідчить про широке використання такої техніки у нафто- і газовидобувній галузі в шельфовій зоні, при виконанні обстежувальних робіт в акваторіях морів, океанів і на внутрішніх водах, здійсненні рятувальних та пошукових підводних операцій, для гідрографічних та природоохоронних досліджень. Важливу роль для будь-якої морської держави світу відіграють СППС оборонного призначення, які широко застосовуються для гуманітарного розмінування акваторій, протидії версійних та аварійно-рятувальних робіт на морі.

Сьогодні створення і застосування СППС в інтересах вітчизняних організацій, які ведуть професійну діяльність на морі, має виключно важливе значення з трьох причин:

- по-перше, українські фахівці вже мають багаторічний позитивний досвід застосування СППС вітчизняного виробництва у діяльності підприємств Мінпаливенерго на Чорному і Азовському морях протягом 1994–2014 рр. (СППС «Атлеш»), морських операціях Державної служби України з надзвичайних ситуацій на протязі 2010–2018 рр. (СППС «Інспектор» і «Гідрограф») та при виконанні підводних археологічних досліджень НАН України (СППС «Софокл»);
- по-друге, позитивний досвід Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) по оснащенню такими системами Військово-Морських Сил (ВМС) Збройних Сил України свідчить про спроможність прикладної вітчизняної науки створювати інноваційні технічні засоби для впровадження безлюдних технологій у практику морської діяльності (Наказ Міністра оборони України № 254 від 08.08.2002 р. «Про прийняття на озбро-

ення підводного апарата “СЕВЕР-2”, морського телекерованого комплексу МТК-200, малогабаритного телекерованого підводного апарата “АГЕНТ-1”» (нетаємно);

- по-третє і найбільш актуально – великими обсягами завдань щодо гуманітарного розмінування морських акваторій та акваторій внутрішніх вод України, що вимагає термінового оснащення відповідних служб держави новими високоефективними робототехнічними засобами для зниження ризиків для життя і здоров’я особового складу цих служб.

Тому створення СППС для Державної служби України з надзвичайних ситуацій та інших силових структур України відноситься до завдань загальнодержавного значення і робить актуальним завдання удосконалення теоретичних основ та розробки прикладних методик проектування такого виду морської робототехніки.

Загальна теорія СППС достатньо повно розроблена і висвітлена у вітчизняній та зарубіжній науково-технічній літературі. Фундаментальні наукові результати отримано у роботах професорів Магули В. Е., Салтанова М. В., Сліжевського М. Б., Ткаченка О. М., Шамаріна Ю. Є., Блінцова В. С., Блінцова О. В., Вашедченка А. М., Кондратенка Ю. П., (Україна), Агеева М. Д., Виноградова М. І., Дмитрієва О. М., Єгорова В. І., Лукомського Ю. О., Ястребова В. С. (СРСР), Antonelly G. (Італія), Kirchner F., Moore W. (США), Rowinski L. (Польща), Fossen T. (Норвегія) та ін.

Однак, високий рівень складності взаємозв’язків між матеріальними, енергетичними, інформаційними та функціональними характеристиками складових СППС обумовлює актуальність розв’язку прикладного наукового завдання удосконалення методики проектування таких систем на основі системного підходу із застосуванням рівнянь існування як системоутворюючої методології створення нової підводної техніки.

Успішний розв’язок вказаного завдання забезпечить проєктувальників та замовників СППС ефективним інструментом для визначення можливості створення нових зразків підводної техніки спеціального призначення вже на ранніх стадіях їх проєктування, що забезпечить зменшення витрат проєктних ресурсів (зокрема, часу і вартості) на її створення.

Розділ 1

САМОХІДНІ ПРИВ'ЯЗНІ ПІДВОДНІ СИСТЕМИ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЇХ ПРОЄКТУВАННЯ

1.1 Склад та класифікація сучасних СППС

1.1.1 Склад та класифікація СППС

Самохідні прив'язні підводні системи (СППС) належить до широко розповсюдженого виду підводної робототехніки та широко застосовуються у практиці провідних морських країн світу [1–3]. Вони призначені для виконання пошукових, інспекційних, аварійно-рятувальних та інструментальних робіт під водою, а також для виконання завдань з гуманітарного розмінування акваторій та протидиверсійних морських операцій [4–10].

В останні роки спостерігається розширення обсягів і номенклатури підводно-технічних робіт (ПТР) при залученні самохідних прив'язних підводних апаратів за рахунок встановлення зовнішнього начіпного обладнання (НО) – гідроакустичних та вимірювальних приладів, підводних маніпуляторів, різаків тросів, очисного та іншого інструменту [11; 12]. Це збільшує актуальність прикладного наукового завдання щодо проєктування і будівництва СППС широкого призначення і відкриває принципово нові можливості для підводних технологій – від високоточного обстеження підводних об'єктів та цифрового картографування підводного простору до дистанційно керованих маніпуляційних робіт при виконанні підводних будівельно-монтажних робіт, а також обстеження і документування технічного стану підводної частини корпусів суден та їх заборотної арматури [13–17].

Склад обладнання типової СППС як об'єкту проєктування, розташованої на надводному судні-носії, показано на рис. 1.1.

РОЗДІЛ 1 · Самохідні прив'язні підводні системи
та аналіз методів їх проектування

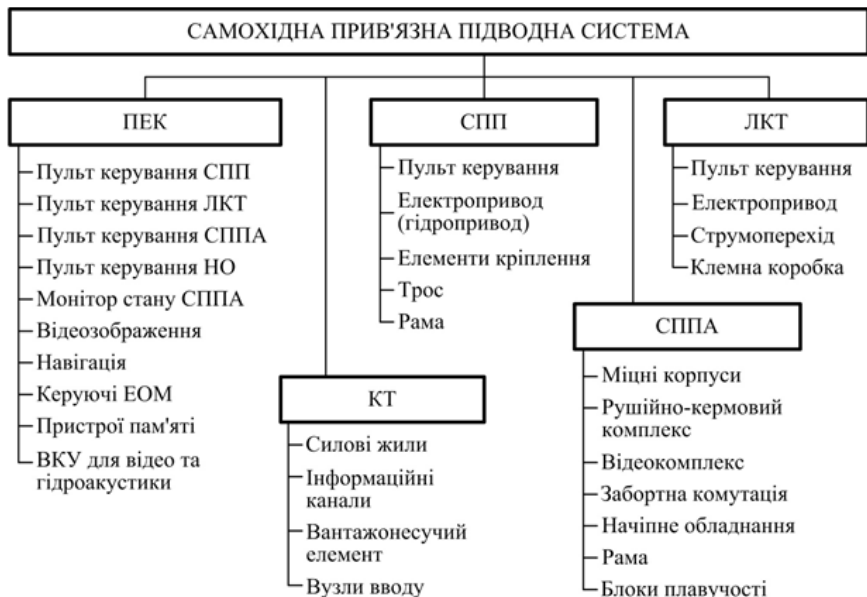
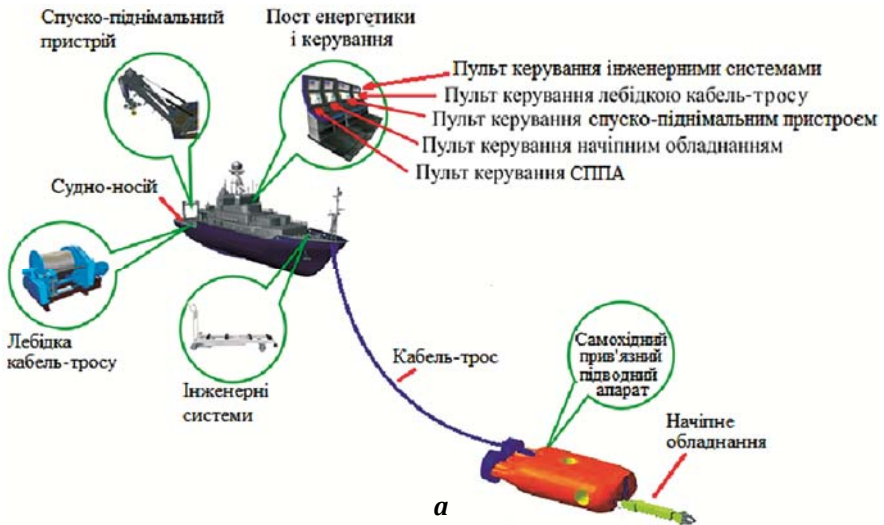


Рисунок 1.1 – Склад обладнання СППС як об'єкту проектування

У типовий перелік обладнання СППС входить:

- самохідний прив'язний підводний апарат (СППА);
- пост енергетики і керування (ПЕК), що знаходиться на базі – судні-носії (СН);
- кабель-трос (КТ), що забезпечує енергоживлення СППА та двосторонній його інформаційний обмін з постом енергетики і керування (ПЕК);
- лебідка кабель-троса (ЛКТ, лебідка для керованої зміни довжини КТ у процесі роботи СППА та його зберігання у міжопераційний період);
- спуско-піднімальний пристрій (СПП)

Крім того, до складу СППС можуть входити інженерні системи, призначені для технічного обслуговування СППА:

- транспортні засоби для переміщення підводного апарату на палубі СН,
- обладнання для кріплення підводного апарату «по-похідному» і його поточного технічного обслуговування та ін.

Базою для розміщення СППС може бути надводне судно-носіє (СН), підводний човен чи населений підводний апарат, гелікоптер, спеціальна морська платформа тощо.

Розглянемо класифікаційні ознаки та наведемо короткий опис основних складових обладнання СППС [18–20].

Відповідно до кількості ланок СППС може бути одноланковою та двохланковою (рис. 1.2).

Робочі глибини використання одноланкових СППС обмежуються довжиною КТ, що з'єднує СППА з СН. Зазвичай, це глибини морського шельфу, тобто 100–200 м, інколи, в залежності від форми морського дна – 500–1500 м (рис. 1.2, а).

Зазвичай, КТ одноланкових СППС має нейтральну (нульову) плавучість, що мінімізує його силовий вплив на динаміку СППА.

Двохланкові СППС використовуються для значних глибин (більше 500 метрів).

Оскільки КТ нульової плавучості суттєво впливає на поведінку СППА з-за дії підводної течії, для першої ланки СППС використовують КТ від'ємної плавучасті (КТВП) (рис. 1.2, б).

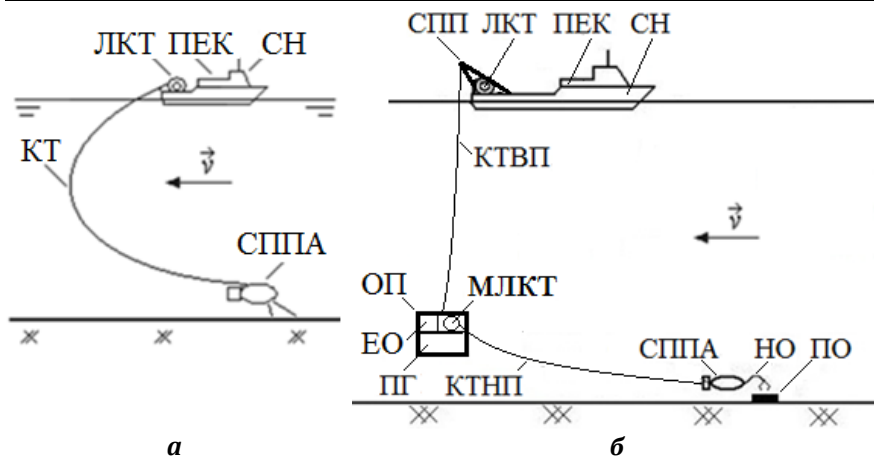


Рисунок 1.2 – Варіанти структури самохідної прив'язної підводної системи:
а – одноланкова СППС; б – двохланкова СППС

Додатковим привантажувачем слугує спеціальна опускна платформа (ОП), яка містить підводний гараж (ПГ), де розміщується власне, підводний апарат, та малогабаритна лебідка КТ нульової плавучості (МЛКТ), а також електроенергетичне обладнання (ЕО) для живлення СППА та керування ПГ.

На МЛКТ знаходиться КТ нейтральної плавучості (КТНП), що під'єднаний безпосередньо до СППА [21].

На СППА встановлюється рушійно-кермовий комплекс (РКК), навігаційно-керуюче обладнання, відеокomплекси з підводними світильниками, гідроакустичні прилади – сонари, ехолоти тощо.

У якості зовнішнього НО на СППА для роботи з підводними об'єктами встановлюються підводні маніпулятори, різакі тротів, очисні пристрої, вимірювальні прилади, пробовідбірники води та/чи ґрунту тощо [11; 16].

Узагальнені класифікаційні ознаки СППС як об'єкту проектування представлена на (рис. 1.3).

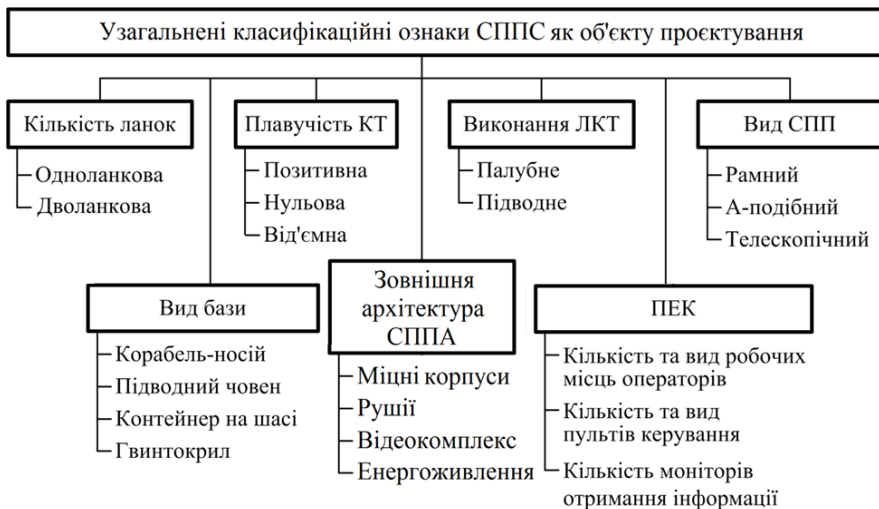


Рисунок 1.3 – Узагальнені класифікаційні ознаки СППС як об'єкту проектування

Доцільність застосування СППС для виконання підводно-технічних робіт різного спрямування пояснюється рядом унікальних експлуатаційних властивостей цього виду техніки:

- практично необмеженим часом роботи СППА під водою (обмеження стосується, зазвичай, тільки вимогами до технічного обслуговування механізмів підводного апарата);
- можливістю обміну інформацією між ПЕК та СППА та можливістю оперативного керування просторовим переміщенням підводного апарата у реальному часі з-за наявності КТ;
- можливістю дистанційного керування підводним навісним обладнанням та інструментом (у тому числі й виконання складних інструментальних робіт за відсутності людини-оператора під водою);
- можливістю супроводу і керування водолазними роботами, підтримки підводних технологій, що не потребують присутності людини під водою, таким чином, забезпечуючи залучення фахівців без ризику для їх життя, що неодмінно присутній при реалізації водолазних технологій;

- відсутністю гідронавта на борту СППА, що знижує вартість СППС у порівнянні з населеними підводними апаратами, де необхідно основну увагу приділяти безпеці і життєзабезпеченню людини, а також при цьому не виникає додаткових обмежень на застосування СППС з огляду на гідрометеорологічні умови.

До недоліків у застосуванні СППС відносять наступні:

- істотна залежність величини робочої зони СППА від положення СН і довжини КТ;
- вимоги по динамічному позиціонуванню СН при роботі СППА на великих глибинах та в умовах дії зовнішніх збурень;
- обмеження на можливості виконання підводних місій, обумовлені гідрокліматичними умовами району робіт.

Основні області застосування СППС: науково-дослідницькі, аварійно-рятувальні, туристичні, природоохоронні, оборонні.

1.1.2 Основні вимоги до проектування складових елементів СППС

1.1.2.1. Судно-носіє (в англійській літературі – carrier ship, CS). Базою, що спроможна розташовувати та забезпечувати функціонування СППС за призначенням, зазвичай, виступає надводне судно-носіє або підводний човен чи населений підводний апарат.

Оскільки надводне судно-носіє є найбільш розповсюдженим видом бази для СППС, далі будемо розглядати саме цей вид носія.

Надводне СН (surface vessel) являє собою спеціалізований або адаптований для такого використання плавзасіб з ходовими, вантажопідійомними, навігаційними та комунікаційними характеристиками, необхідними для ефективного реалізації всіх експлуатаційних режимів самохідної прив'язної підводної системи.

Прикладами такої бази для цивільних задач СППС можуть бути:

- офшорні судна-носії (СН) (рис. 1.4, а, б);
- науково-дослідницькі судна (рис. 1.4, в, г);
- спеціалізовані безекіпажні надводні судна-носії морських дронів (рис. 1.4, д, е).

З метою забезпечення оборони держави з морського напрямку Військово-Морські Сили Збройних Сил України у якості СН для СППС використовують:

- надводні кораблі (рис. 1.4, ж);
- водолазні судна (рис. 1.4, з).

До головних вимог, які висуваються до надводних суден-носіїв СППС, відносяться:

- наявність площі для розміщення, застосування за призначенням, технічного обслуговування та зберігання СППС у період між виконанням підводних місій;
- можливість керованого руху з малими ходами (до 3 м/с) та позиціонування у робочій точці акваторії, що необхідно для руху підводного апарата з мінімальними силовими впливами, що передаються до нього через КТ при виконанні підводних місій на великих за площею морських акваторіях та при виконання високоточних інструментальних робіт під водою;
- наявність систем гідроакустики для зв'язку й навігації СППА;
- наявність відповідних систем зв'язку для оперативного інформаційного обміну з береговими центрами керування морськими операціями.

Від правильного вибору СН суттєво залежить якість виконуваних СППА підводних місій та, загалом, ефективність застосування прив'язної підводної системи у цілому.

1.1.2.2. Пост енергетики та керування. До ПЕК (в англomовній літературі – Control and Energy Device, CED) входить обладнання для електроживлення СПП, ЛКТ та безпосередньо СППА відповідної номенклатури та характеристик якості, а також пульти керування цими складовими СППС.

РОЗДІЛ 1 · Самохідні прив'язні підводні системи
та аналіз методів їх проектування

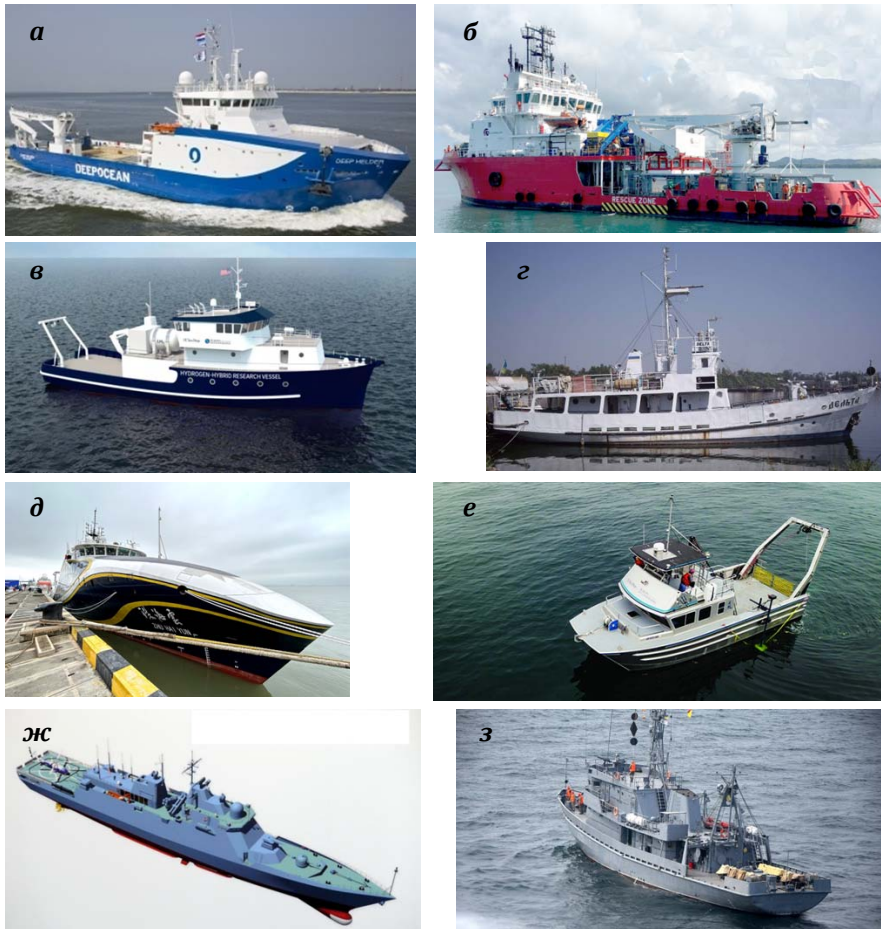


Рисунок 1.4 – Судна-носії СППС: а – СН «DEEP HELDER» компанії «DEEP OCEAN» (Нідерланди); б – СН «Beacon Altair» компанії «Beacon Offshore Ltd.» (Таїланд); в – проект науково-дослідницького судна Каліфорнійського університету (США); г – науково-дослідницьке судно «Дельта» Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова «Дельта» (Україна); д – безпілотний носій морських безпілотників «Zhu Hai Yun» (КНР); е – регіональне дослідницьке судно «Robert Gordon Sproul» для наукових та освітніх місій (США); ж – проект корвету «Володимир Великий»; з – патрульний катер «ISLAND»

Загальний вид типових стаціонарних і переносних ПЕК на-
дано на рис. 1.5.

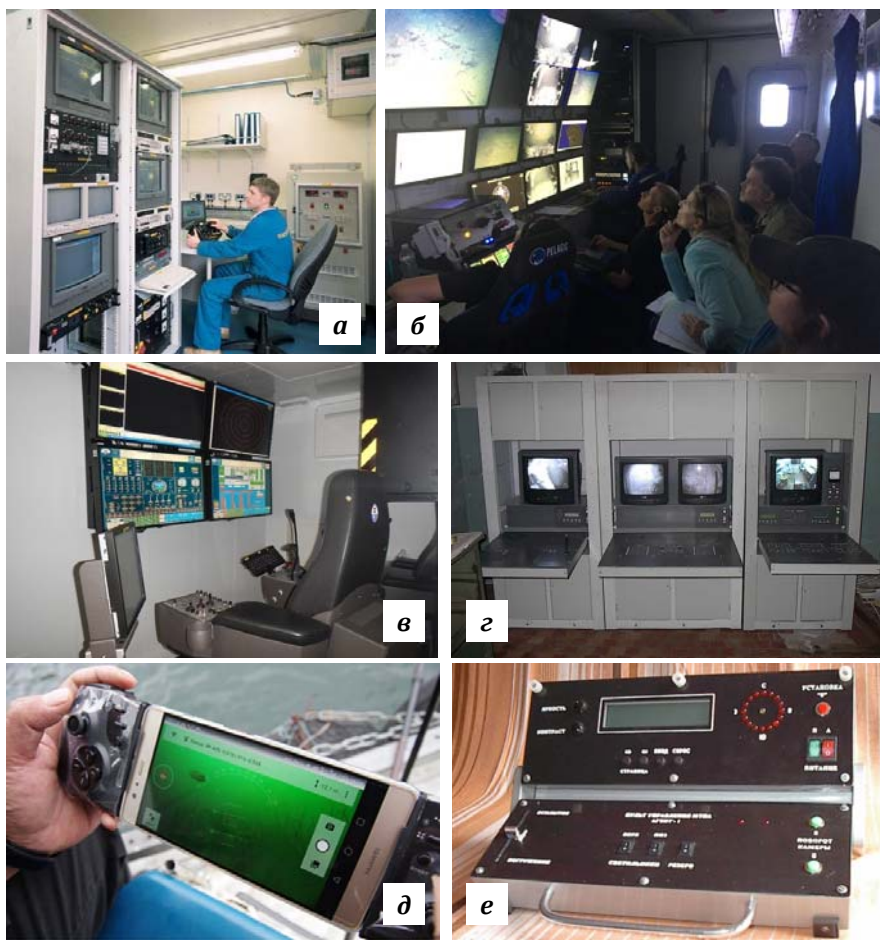


Рисунок 1.5 – Стаціонарні та переносні пости енергетики
і керування СППС: а – ПЕК СППА «Tiger» (SAAB, Швеція);
б – ПЕК СППС «Deep Discoverer» (США); в – ПЕК СППС «SeaEye
Cougar» (SAAB, Швеція); г – ПЕК СППС «МТК-200» (НУК, Україна);
д – ПЕК СППА «Gladius Mini» (КНР);
е – ПЕК СППА «Інспектор» (НУК, Україна)

Розглянемо їх призначення більш детально.

Типовий ПЕК забезпечує керування обладнанням і джерелами живлення СППС і може бути встановлений в окремому приміщенні безпосередньо на СН або інтегрований в спеціальний модуль керування, розміщений в транспортному контейнері керування.

ПЕК забезпечує:

- керування переключеннями системи енергоживлення від джерел постійного і змінного струму;
- індикацію параметрів системи енергоживлення складових СППС та їх захист в аварійних режимах;
- керування відеосигналами, включаючи візуалізацію відео- та гідроакустичного зображення та їх документування;
- керування конфігураціями системи за допомогою наявної клавіатури;
- керування СППА, ЛКТ та СПП у режимах ручного, автоматизованого та автоматичного керування;
- керування електрообладнанням системи підводного гаража.

При цьому, пульт керування СПП як складова ПЕК СППС має забезпечувати керування операціями спуску СППА на воду та підйом його на палубу СН після завершення місії.

Пульт керування ЛКТ призначений для керування процесом оперативної зміни довжини КТ при зануренні-спливанні та підводному русі СППА при виконанні ним підводної місії.

Пульт керування СППА (стаціонарний чи переносний) має містити:

- маніпуляційні пристрої (джойстики) для ручного керування рушіями, що забезпечують просторовий рух СППА, та керування його навігаторним обладнанням (вимірювальними приладами, маніпуляторами та ін.);
- відеомонітори та засоби запису інформації, що надходить від фото-, відео- та гідроакустичної апаратури СППА та СН;
- обчислювальний пристрій (контролер чи мікро-ЕОМ, що керує) для автоматичного керування роботою ЛКТ та СППА [22–25].

Пульт керування інженерними системами призначений для керування допоміжними пристроями (здебільшого, засобами механізації палубних робіт).

Для СППА малих класів (див. п.п. 1.1.2.6) керування ЛКТ і СПП виконується децентралізовано, із застосуванням місцевих (суднових) пультів керування. Для керування такими класами підводних апаратів використовують ПЕК з портативними (часто переносними) пультами керування, які мають невеликі масо-габаритні характеристики і дають змогу керувати операціями з перевірки працездатності СППА перед його зануренням безпосередньо з палуби СН. Для цього вони мають радіозв'язок з ПЕК та портативний відеоконтрольний пристрій, інтегрований в консоль переносного пульта керування (рис. 1.5, д, е).

Переносні пульти керування також часто використовують і для СППА середніх і важких класів для виконання підготовчих операцій і тестування систем і вузлів таких підводних апаратів.

Зазвичай, СПП та ЛКТ також мають власні переносні пульти керування для ручного керування цими складовими у разі необхідності знаходження оператора на палубі СН.

Таким чином, складність ПЕК є різною і залежить від складності СППС та складності виконуваних нею підводних операцій (місій).

1.1.2.3. Спуско-піднімальний пристрій. Спуско-піднімальні пристрої для СППС (в англомовній літературі – CD, Cargo Device) на цей час мають широку номенклатуру. Так, одноланкові СППА класів «мікро» та «міні» (див. п.п. 1.1.2.6) можуть бути спущені на воду ручним способом або наявними на судні вантажопідйомними пристроями – судновими лебідками невеликої вантажопідйомності (рис. 1.6, а).

Для СППА середнього і вищих класів широкого застосування набули СПП маніпуляційного типу (рис. 1.6, б), рамної конструкції (рис. 1.6, в, г) та телескопічного виконання (рис. 1.6, д).

Вигляд деяких спуско-піднімальних пристроїв показано на рис. 1.5.



а



б



в



г



д

Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд спуско-підйомних пристроїв СППС:

- а* – спуск СППА класу «міні» судновою лебідкою;
б – СПП маніпуляційного типу; *в, г* – СПП рамної конструкції;
д – СПП телескопічного типу

Зазвичай, спеціалізовані судна-носії СППС мають окремі джерела енергії, які призначені конкретно для електроживлення усіх складових прив'язної підводної системи, а також штатний СПП з певною вантажопідйомністю, яка визначається класом СППА на борту СН.

Рівень автоматизації СПП визначається призначенням та складністю експлуатації СППА. Найбільш поширеними є двох-рівневі системи автоматизації, які передбачають ручне та авто-

матизоване керування операціями спуску СППА на воду перед початком місії та підйому СППА на палубу СН після завершення підводної місії.

1.1.2.4. Лебідка кабель-тросу. У складі СППС ЛКТ (в англійській літературі – UCW, Umbilical Cable Winches) являє собою барабан з ребордами, на який намотується КТ. Лебідка оснащена електричним чи гідравлічним приводом, а її головними параметрами виступають кабелемісткість (максимальна довжина КТ, який може бути розміщений на барабані), маса та габарити, що визначаються згинною жорсткістю КТ та його діаметром.

Типова конструкція ЛКТ представлена на рис. 1.7, а.

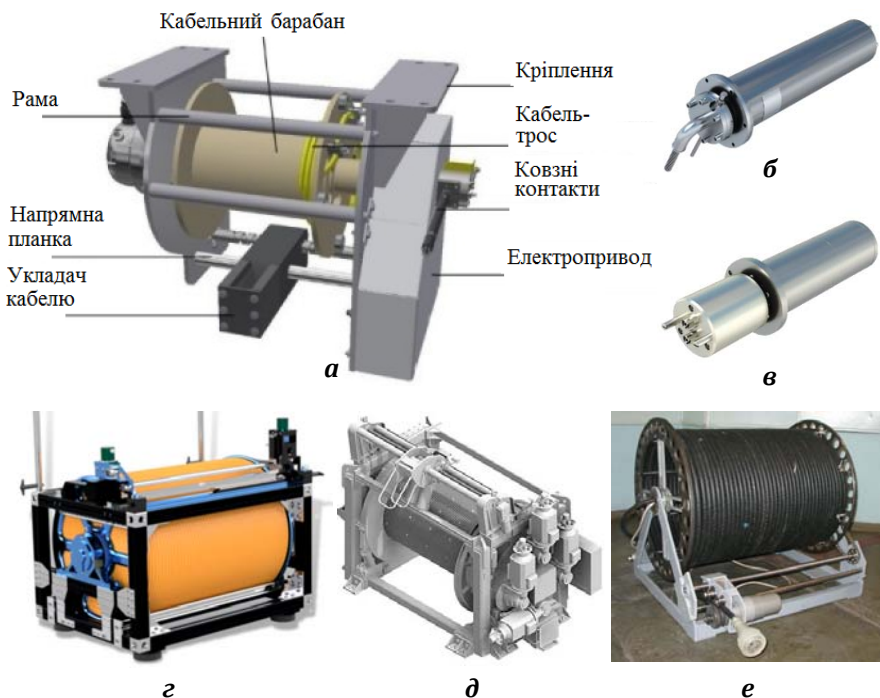


Рисунок 1.7 – Типова конструкція ЛКТ та її складові, що забезпечують електроживлення СППА та обмін інформацією з ПЕК

Ключовими вимогами до ЛКТ є також діапазон швидкостей попускання/вибирання КТ та рівень її автоматизації.

Сьогодні використовуються ЛКТ з електричним або гідравлічним приводом, вони є дистанційно керованими, з активною компенсацією висоти СППА над водою, призначені для роботи з СН навіть у найсуворіших умовах.

До особливостей ЛКТ з електроприводом відносяться:

- регулювання швидкості обертання кабельного барабана;
- вбудоване резервування з кількома електродвигунами;
- менше енергоспоживання порівняно з гідравлічними приводами;
- автоматичний, електричний, синхронізований вітровий механізм;
- місцеве та дистанційне керування;
- активна компенсація висоти СППА над водою при його опусканні на воду та підніманні з води при хитавиці СН та наявності вітрових збурень.

Лебідка є місцем зберігання КТ і при виконанні ПТР має оперативно здійснювати регулювання довжини попущеної частини КТ в залежності від особливостей підводної задачі, що реалізується СППА.

Тому важливою експлуатаційною особливістю ЛКТ є принцип передачі електроенергії від СН до СППА та принцип обміну інформацією між ПЕК і СППА під час обертання барабана ЛКТ.

Для забезпечення безперервного електричного зв'язку між ПЕК і СППА на практиці застосовують два основні технічних рішення:

- подвійне перемотування КТ, яке забезпечує безконтактну зміну довжини його попущеної частини, але вимагає додаткової кабелемісткості та конструктивної складності лебідки, що обумовлює збільшення її масогабаритних характеристик;
- застосування ковзних контактів (струмопереходів з контактними кільцями спеціальної конструкції), які забезпечують безперервний електричний контакт між електричними

кабелями ПЕК (силовими та інформаційними) та провідниками КТ СППА під час обертання барабану ЛКТ.

Конструктивно ковзні контакти (в англомовній літературі – Slip Rings) виконуються у вигляді герметичних або баророзвантажених конструкцій, які дають змогу передавати електричну енергію, цифрову та аналогову інформацію в єдиному конструктиві (див. рис. 1.7, б).

До основних експлуатаційних вимог ковзних контактів ЛКТ відносяться:

- кількість силових каналів передачі електроенергії та максимальна величина напруги і струму, що передаються до СППА;
- кількість каналів цифрової та аналогової інформації, які забезпечують обмін даними між ПЕК і СППА (зазвичай, передбачається обмін інформацією за протоколами CANbus, PROFIBUS®, DeviceNET™, 10BASE-T Ethernet, SHDSL, RS-485, Drive CLIQ™ тощо);
- діапазон робочих температур та максимальна глибина занурення.

Важливим видом інформаційного обміну між ПЕК і СППА при барабані ЛКТ, що обертається, є передача інформації по оптоволоконним каналам КТ. Для передачі такого виду інформації при барабані ЛКТ, який обертається, застосовуються волоконно-оптичні поворотні з'єднання (в англомовній літературі – Fiber Optic Rotary Joints), див рис. 1.7, в.

На рис. 1.7, з–е показано зовнішній вигляд ЛКТ фірми «DeltaROV» (рис. 1.7, з), фірми «MacGregor» (рис. 1.7, д) та кабельної в'юшки виробництва НУК ім. адм. Макарова (рис. 1.7, е).

Попри візуальну різницю в дизайні спільними рисами ЛКТ є наявність рамної конструкції, на якій змонтовано привод кабельного барабану з редуктором та укладачем КТ, а також вузол зі струмопереходами. Щодо систем керування ЛКТ, то вони мають досить широку лінійку варіантів технічної реалізації, починаючи з прямого ручного керування і закінчуючи повністю автоматичним керуванням, яке адаптується до зовнішніх збурень.

Згідно розрахунковій глибині занурення СППА їх ЛКТ виготовляються на дуже малі (до 100 м), на малі (від 100 до 600 м), середні (від 600 до 2000 м), великі (від 2000 до 6000 м) і на дуже великі (більше 6000 м) глибини.

Конструктивне виконання лебідки КТ та її складових частин має забезпечувати можливість проведення технічного обслуговування, ремонту і зберігання ЛКТ і розташованого на її барабані КТ.

1.1.2.5. Кабель-трос. Кабель-трос (в англomовній літературі – Tether Cable, TC) призначений для передачі на СППА електричної енергії від суднового джерела електроенергії, для двостороннього обміну інформацією між пультом керування та СППА, для передачі фото-, відео- та гідроакустичної інформації від СППА на пульт керування, а також для виконання вантажонесучих функцій.

На цей час зарубіжними фірмами та вітчизняною промисловістю освоєно продукування широкого спектру КТ відповідно до призначення СППС.

Кабель-троси в СППС виконують триєдине завдання:

- реалізують вантажонесучу функцію;
- являються каналом для передачі електроенергії;
- являються каналом для обміну інформацією між СППА та СН.

У практиці проектування СППС розрізняють кабель-троси за наступними ознаками:

- за конструкційними матеріалами елементів КТ, які забезпечують йому задані характеристики:
 - метали силових провідників електричного струму, радіочастотних, аналогових та цифрових інформаційних сигналів;
 - ізоляційні матеріали електричних провідників;
 - матеріали оптично-волоконних каналів інформації;
 - матеріали герметизуючи заповнювачів;
 - матеріали вантажонесучих елементів;
 - матеріали захисних оболонок провідників струму та КТ у цілому;

- за характеристиками електроенергії, яка передається до СППА:
 - постійного струму;
 - змінного однофазного струму;
 - змінного трифазного струму;
 - комбінованого живлення СППА;
- за характеристиками інформаційних потоків між ПЕК та СППА:
 - аналогові сигнали;
 - цифрові сигнали;
 - радіочастотні сигнали;
 - оптично-волоконні сигнали;
 - комбіновані інформаційні потоки;
- за експлуатаційними властивостями КТ як гнучкого тіла, що використовується в умовах агресивного зовнішнього середовища:
 - характеристики плавучості (нульової, від'ємної або змінної по довжині КТ плавучості);
 - поздовжня й поперечна герметичність конструкції КТ;
 - вантажонесучі характеристики (зусилля на розрив КТ);
 - діаметр і мінімальний радіус згину;
 - стійкість до стирання тощо.

На рис. 1.8 наведено конструкцію та зовнішній вигляд типових КТ різного призначення.

На рис. 1.8 позначено: 1 – вантажонесучий елемент; 2 – елементи плавучості; 3 – струмоведучі жили в ізоляції; 4 – радіочастотний провідник в ізоляції; 5 – «звиті пари» провідників для цифрових сигналів в ізоляції; 6 – захисна оболонка; 7 – електромагнітний екран; 8 – електрична ізоляція; 9 – екран з мідної стрічки.

Кабель-троси, які одночасно використовують оптично-волоконні та силові елементи, застосовуються для двостороннього інформаційного обміну в реальному часі між СППА та ПЕК, розташованим на СН.

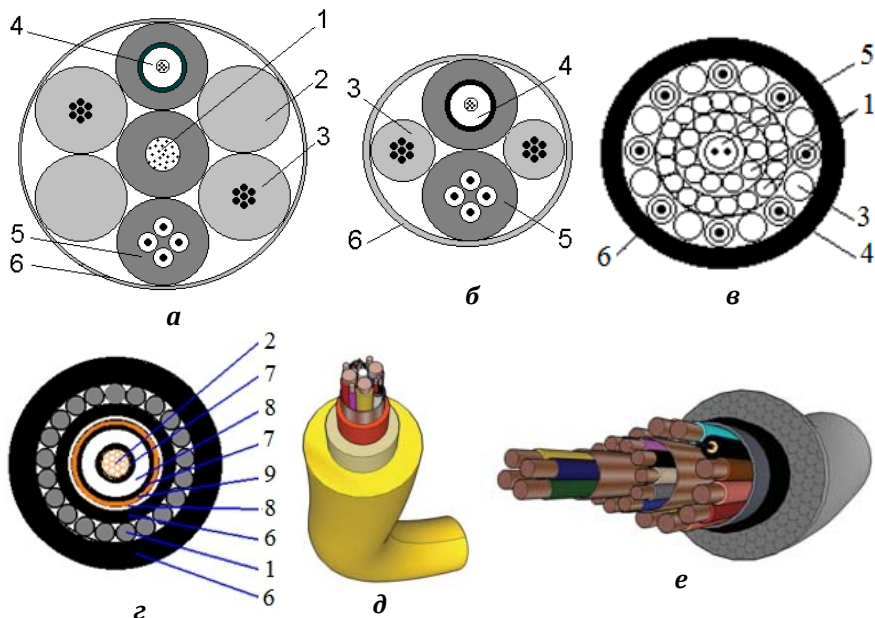


Рисунок 1.8 – Конструкція та зовнішній вигляд типових кабель-тросів СППС: а – кабель-трос нульової плавучості КНП (АТ «Азовкабель», Україна); б – кабель-трос від’ємної плавучості КВП (АТ «Азовкабель», Україна); в – кабель-трос від’ємної плавучості ОКУ-1 заводу «Ташкабель» (Казахстан); г – вантажонесучий високовольтний кабель-трос фірми Huadong Cable Group (КНР); д, е – зовнішній вигляд кабель-тросів, відповідно, нульової та від’ємної плавучості фірми «Tyco Electronics» (США)

Для захисту КТ від розриву та надання йому нульової плавучості в його конструкцію вводять вантажні (зазвичай, кевларові) і плавучі (наприклад, з спіненого поліетилену) нитки.

Діаметр КТ може становити від 1 мм до 12 мм, а при включенні до його конструкції провідників для подачі електроенергії на СППА – до 30 мм.

Довжина КТ залежить від робочої глибини СППА і може бути від декількох десятків метрів до 40000 м (підводний апарат «Nereus» з оптично-волоконним КТ діаметром 3 мм, США).

1.1.2.6. Опускна платформа з підводним гаражем. Використання одноланкових СППС на великих глибинах (500 метрів і більше) та в умовах сильних підводних течій викликає необхідність застосування КТ великої довжини, значно більшої за глибину занурення СППА. Це, у свою чергу, обумовлює низку труднощів експлуатаційного характеру. До головних труднощів належать:

- значне збільшення довжини попущеної частини КТ та пов'язане з цим падіння напруги живлення СППА;
- суттєва збільшення сил гідродинамічного опору КТ і, як наслідок, необхідність збільшення потужності рушійних пристроїв СППА і зростання загальної потужності електроенергетичної установки СППС.

Для виключення цих недоліків широкого застосування набули двохланкові СППС (див. рис. 1.2, б). У якості проміжної конструкції для занурення СППА на значну глибину вони використовують привантажувач – спеціальну опускну платформу (ОП, в англомовній літературі – Lowering Platform, LP), на якій розміщується підводний гараж (ПГ, в англомовній літературі – Underwater Garage, UG) з СППА та малогабаритна лебідка кабель-тросу нульової плавучості (МЛКТ), а також електроенергетичне обладнання для живлення СППА (зокрема, понижувальні трансформатори) та система керування підводним гаражем (в англомовній літературі – Tether Management System, TMS)

Деякі варіанти побудови опускних підводних платформ провідних морських країн світу показані на рис. 1.9.

Як видно з рисунку, конструктивно МЛКТ можуть виконуватись з горизонтальною (рис. 1.9, а) та вертикальною (рис. 1.9, б) осями обертання на опускній платформі.

Конкретний варіант розташування МЛКТ визначається особливостями безперешкодного попускання/вибирання КТНП.

1.1.2.7. СППА – головний інструмент СППС. Самохідний прив'язний підводний апарат (в англомовній літературі – Remotely Operated Vehicle, ROV) отримує енергетичне забезпечення від



а



б

*Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд опускних платформ
з підводними гаражами провідних морських країн світу:*

- а – опускна платформа фірми SMD (Англія);*
- б – опускна платформа фірми SAAB (Швеція)*

СН за допомогою кабельної лінії, є ненаселеним підводним транспортним засобом, який керується від ПЕК завдяки наявності КТ. Він використовується у якості носія пошуково-вимірювальної апаратури, маніпуляторів та військової техніки при дистанційному виконанні широкого кола дослідницьких, господарських та військово-прикладних робіт. Як головний інструмент СППС апарат може виконувати наступні види ПТР:

- пошук об'єктів, що знаходяться на ґрунті, в ґрунті та в товщі води;
- вимірювання геометричних, оптичних, гідрофізичних, гідрохімічних та інших характеристик підводних об'єктів, водного середовища та ґрунту;
- доставка у визначену точку підводного простору корисного вантажу (інструментів, приладів, інженерних конструкцій, зброї, військової техніки);

- доставка вантажу на поверхню (на СН): зразків води і ґрунту, затонулих предметів та військової техніки згідно призначенню СППС;
- виконання технічних робіт за допомогою підводного інструменту (маніпулятора, різака тощо).

Спираючись на види ПТР СППА за цільовим призначенням та особливостям технічного оснащення поділяються на два великі класи – пошуково-обстежувальні та робочі.

Перший клас СППА призначено для пошуку, візуального та приладового обстеження підводних об'єктів за допомогою:

- відео- та фотокамер у комплекті з освітлювачами;
- гідроакустичних локаторів кругового, секторного і бічного огляду;
- профілографів;
- магнітометрів;
- датчиків фізичних та хімічних характеристик підводних об'єктів, води та ґрунту;
- ультразвукових товщиномірів;
- датчиків катодного потенціалу;
- лазерних дальномірів і систем виявлення витоків нафти;
- трасошукачів.

Другий клас СППА призначено для виконання робіт безпосередньо на підводному об'єкті:

- зварювання і різання;
- монтаж, дистанційне технічне обслуговування, монтаж і демонтаж підводного обладнання;
- вимірювання характеристик підводних конструкцій;
- прокладання підводних кабелів;
- розмивання замулених предметів;
- доставка корисного вантажу з СН в задану точку підводного простору;
- підйом малорозмірних предметів на СН.

Основними інструментами робочих СППА є: багатофункціональні маніпулятори; прилади вимірювання неруйнівного контролю; гідромонітори; різакі тросів, металічних та бетонних конструкцій.

Переваги СППА, що отримує енергетичне та інформаційне забезпечення від СН за допомогою КТ, у порівнянні з автономними підводними апаратами, є наступними:

- теоретично необмежена тривалість ПТР;
- передача інформації про підводну обстановку оператору в режимі реального часу;
- можливість виконання складних робіт під контролем спеціаліста, що не є водолазом («ефект присутності» людини під водою);
- відносно низька вартість побудови та експлуатації;
- відносно висока надійність конструкції.

До недоліків СППА відносять:

- значну залежність величини робочої зони СППА від положення СН та довжини КТ;
- вимоги за динамічним позиціонуванням СН у якості бази при роботі СППА на великих глибинах.

Типова конструкція безпосередньо СППА складається з несучої рами, на якій закріплені:

- рушійно-кормовий комплекс у складі декількох рушійних пристроїв (РП) типу «електро- чи гідравлічний двигун – валопровід – гребний гвинт в насадці чи в трубі»;
- навігаційний комплекс у складі датчиків курсу, глибини, крену, диференту і швидкості, гідроакустичної системи навігації;
- блок плавучості, що забезпечує СППА нейтральну плавучість на всьому діапазоні робочих глибин.

Типові СППА різного призначення наведено на рис. 1.10, а відомості про СППА виробництва НУК наведено у додатку А.

Крім того, зазвичай, СППА містять:

- фотовідеокomплекс у складі фото- і відеокамер (моно- і стереоскопічних) та освітлювальних приладів;
- бортову систему телеметрії та інформаційного обміну СППА з пультами керування;
- вузол вводу та кріплення КТ до СППА.



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд типових СППА:

а – однокорпусний; б – багатокорпусний; в – з вертикальною конфігурацією відеокамери; г – з планарною конфігурацією відеокамери; д – з розмивачем ґрунту («Софокл», НУК); е – з маніпулятором («Гідрограф», НУК); ж – з двома маніпуляторами («МТК-200», НУК); з – гідробіонічний; и – антропометричний; к – протимінний («РАР-104», Франція); л – протимінний та протидиверсійний (проект КНПА-58250, НУК); м – донний робочий («Perry Trenching», США)

Основні технічні характеристики типових СППА наведені в табл. 1.1–1.4.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики СППА пошукового призначення

№ з/п	Параметр	Значення	Розмірність
1	Робоча глибина занурення	100	м
2	Довжина КТ (негативна плавучість)	250	м
3	Швидкість маршового ходу	3	вуз.
4	Габаритні розміри	1200×600×600	мм
5	Маса	110	кг
6	Корисне навантаження (гідролокатор)	7	кг

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики СППА робочого класу

№ з/п	Параметр	Значення	Розмірність
1	Робоча глибина занурення	550	м
2	Довжина КТ (позитивна плавучість)	1000	м
3	Швидкість маршового ходу	4	вуз.
4	Габаритні розміри	3900×2000×4200	мм
5	Маса	2500	кг

Таблиця 1.3 – Тактико-технічні характеристики СППА корабельного призначення

№ з/п	Параметр	Значення	Розмірність
1	Робоча глибина занурення	150	м
2	Довжина КТ (негативна плавучість)	550	м
3	Швидкість маршового ходу	4	вуз.
4	Габаритні розміри	2200×1100×640	мм
5	Маса	350	кг
6	Корисне навантаження (гідролокатор)	10	кг

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики СППА для гуманітарного розмінування

№ з/п	Параметр	Значення	Розмірність
1	Робоча глибина занурення	300	м
2	Довжина КТ (негативна плавучість)	500	м
3	Швидкість маршового ходу	6	вуз.
4	Габаритні розміри	2700×1200×1200	мм
5	Маса	250	кг
6	Корисне навантаження (гідролокатор)	15	кг

Основні класифікаційні ознаки СППА як об'єкту проектування наведено на рис. 1.11.



Рисунок 1.11 – Основні класифікаційні ознаки СППА як об'єкту проектування

Згідно класифікації за масою СППА поділяються на п'ять класів: «мікро» (маса до 5 кг), «міні» (маса від 5 до 30 кг), легкі (маса від 30 до 500 кг), середні (маса від 500 кг до 5 т) та важкі (маса понад 5 т). Підводні мікро-, міні-, та легкі апарати, як правило, призначені для виконання пошуково-обстежувальних робіт.

До складу СППС з СППА класу «мікро» входять пульт керування, кабель-трос нейтральної плавучості на ющі і власне мікро-СППА.

Найбільш поширені типи СППС з малими та легкими СППА містять:

- розташований на СН пост енергетики та керування;
- власне, самохідний підводний апарат відповідного класу;
- розташовану на СН лебідку з кабель-тросом нейтральної плавучості, що з'єднує пост енергетики та керування з СППА.

До складу обладнання СППС з СППА середнього та важкого класів входять спускопіднімальні пристрої спеціальної конструкції.

Для глибоководних занурень до складу обладнання СППС додатково входить контейнер спеціальної конструкції (привантажувач), що опускається на важкому кабель-тросі, на якому встановлена глибоководна лебідка з кабель-тросом нейтральної плавучості та СППА з пристроєм дистанційного випуску-повернення СППА на робочій глибині.

Середні та важкі апарати, крім цих робіт, застосовуються в аварійно-рятувальних операціях, інженерно-будівних та ремонтних роботах.

До класу важких СППА також відносять апарати на гусеничному ході, що виконують механічну роботу на морському дні (рис. 1.10, м) [26; 27].

1.1.2.8. Пропозиції щодо удосконалення класифікації СППС як об'єкту керування. Виконаний аналіз свідчить, що на цей час у проєктній практиці створення СППС переважають підходи до їх класифікаційних ознак, які ґрунтуються на призначенні створюваних зразків нової техніки та на їх показниках маси.

Для сучасних процесів проектування, які мають на меті створення ринково перспективного продукту, такі підходи створюють певні незручності, оскільки вони не формалізовані, що важливо для зниження проектних ресурсів, та не описують процес проектування з системних позицій, тобто те враховують комплексно увесь спектр вимог до створюваного продукту, що не забезпечує його конкурентоспроможність на ринку морської робототехніки [28; 29].

Авторами пропонується наступна уточнена структура класифікаційних ознак СППС як об'єкту проектування, яка ґрунтується на системному підході [30; 31] (рис. 1.12).

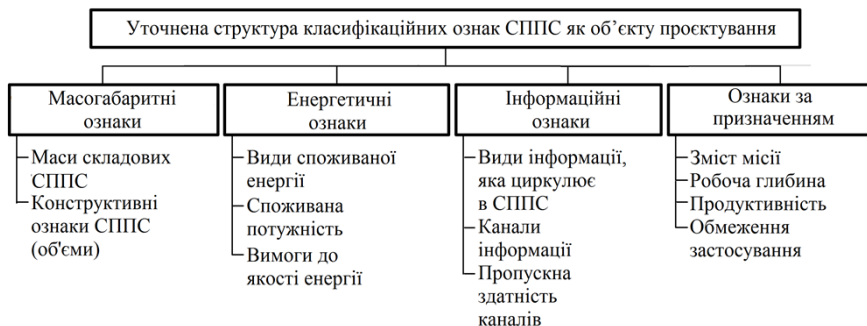


Рисунок 1.12 – Уточнена структура класифікаційних ознак СППС як об'єкту проектування

Як приклад СППА, призначеного для розмінування акваторій, розглянемо корабельний підводно-технічний комплекс з СППА проекту «КНПА-58250» (проект НУК ім. адм. Макарова), призначений для виконання безводолазних підводних робіт на глибинах до 150 метрів (рис. 1.10, л).

До складу обладнання комплексу входять: самохідний прив'язний підводний апарат; кабель-трос; кабельна лебідка; пост керування; маніпулятор; різак мінерепів (тросоріз).

1.1.3 Варіанти використання СППС

Використання СППС у ПТР цивільного призначення передбачає виконання наступних робіт:

- інспекція підводної частини гідротехнічних споруд, корпусів суден на плаву (без докування), донної поверхні портів, причалів, дамб, фарватерів і водних транспортних шляхів, підводних трубопроводів, кабелів морського зв'язку, споруд для освоєння шельфу;
- супровід будівництва і експлуатації підводних інженерних об'єктів;
- виконання науково-дослідницьких робіт в області океанології з вивченням гідрофізичних та гідрохімічних характеристик води та ґрунту, іхтіофауни та іхтіофлори, гідротермальних та інших природних об'єктів на дні моря;
- екології з вивченням впливу промислових стоків та морегосподарської діяльності на стан водного середовища;
- підводні археологічні дослідження [32; 33].

Використання СППС у військових задачах передбачає виконання наступних ПТР:

- гуманітарне розмінування акваторій з пошуком, ідентифікацією, мапуванням координат виявлених мін та їх знищенням;
- пошукові та рятувальні морські операції;
- супровід будівництва і ремонту підводних інженерних споруд військового призначення;
- оперативне висвітлення підводної обстановки на акваторіях, що охороняються, та територіальних вод держави;
- доставка військових вантажів та розгортка підводних комунікацій та систем виявлення вторгнення на захищені акваторії з запобіганням спроб протиправних дій;
- охорона суден, якірних стоянок та прибережних об'єктів [34].

1.2 Сучасні наукові школи з проектування СППС

1.2.1 Історія розвитку теоретичних основ проектування СППС

Теорія проектування СППА веде свій відлік з другої половини ХХ сторіччя і у 70-ті роки розглядала, в першу чергу, проблемні питання гідродинаміки усталеного (квазістаціонарного) та акселеративного (динамічного) руху, а також теоретичні питання розрахунку РП СППА.

Суттєві результати у цьому напрямку було отримано вітчизняними науковцями Пантовим Є. М., Дмитрієвим О. М., Іконніковим І. Б., Ястребовим В. С., Блінцовим В. С., Магулою В. Е., Сліжевським М. Б. та зарубіжними науковцями I. Fossen (Норвегія), L. Rowinsky (Польща) та ін. [1; 35-38].

При проектуванні СППА використовуються здобутки наступних наук: теорії корабля, будівельної механіки, машинобудування, електротехніки, гідромеханіки та інших суднобудівних наук.

Значну роль, особливо на ранніх стадіях проектування СППА, відігравав досвід проектування надводних суден та здатність прогнозування успішних технічних рішень (українські наукові школи професорів А. М. Вашедченка, Л. М. Дихти, Ю. М. Корбанова, В. О. Некрасова, О. С. Рашковського) [39–41].

1.2.2 Методи проектування СППС

Відокремлюється чотири методи проектування СППА:

1. Метод проектування за прототипом, який використовує відомості про співвідношення розмірів елементів, їхніх мас з залученням різноманітних формул перерахунку, емпіричних коефіцієнтів [42; 43].
2. Метод послідовних наближень, який залучає до проектування формули, які відображають функціональні залежності між характеристиками СППА та зовнішнім середовищем, де він експлуатується. Цей метод передбачає визначення характеристик СППА у декількох варіантах, що задовольняють основним вимогам технічного завдання [3; 42; 43].

3. Метод варіацій. Проектування СППА на ранніх стадіях його розробки цим методом полягає у пропозиції декількох варіантів виконання апарата, які відповідають вимогам технічного завдання [42].
4. Комбінований метод проектування. На практиці використовуються комплексно всі три наведені методи проектування, що отримало назву комбінований метод [42].

1.2.3 Проектування СППС у Національному університеті кораблебудування

Проектування СППС як засобу морської робототехніки в НУК ім. адм. Макарова бере свій початок з 1988 року, коли було опубліковано наукову монографію на відповідну тематику під авторством д.т.н., професора Магули В. Е. та к.т.н., доцента Блінцова В. С. [1].

Відмінністю підходу, що було розглянуто у цьому виданні, є вперше на науково обґрунтованому рівні урахування як квазі-стаціонарної, так і динамічної дії КТ на силоенергетичні та динамічні характеристики СППА.

Далі, у монографії [2] у 1998 року було вдосконалено методику проектування СППС, яка використовує достовірні методи розрахунку сил, що діють на СППС з боку КТ. У такий спосіб наукова школа НУК осмислено враховує при розрахунках енергетичних характеристик апарата (зокрема, упорів РП) суттєвий вплив КТ для великих глибин та роботі на течії.

У роботі [2] було встановлено, що при проектуванні силоенергетичної складової СППС визначальний вплив має гідродинамічний опір КТ, який працює у набігаючому потоці, аніж гідродинамічний опір власне СППА.

Таким чином, науковцями НУК Магулою В. Е. та Блінцовим В. С. було започатковано метод розрахунку квазістаціонарних та деяких режимів ривка роботи СППС, а у дослідженнях Блінцова О. В. було надано теорію та методику розрахунку динамічних режимів, де враховуються сили, що виникають при акселеративному русі КТ [44].

Проте, вказані методики та підходи використовують окремі властивості майбутнього СППА і надають змогу розрахувати тільки конкретні штатні режими роботи конкретного підводного апарата. Наразі відсутня узагальнююча методика проектування СППС як єдиного технічного комплексу, яка б враховувала не тільки силову взаємодію підводного апарата та СН як твердих тіл, що пов'язані між собою КТ як гнучким тілом, а й взаємний вплив конструкторських рішень щодо мас і об'ємів апарата, його енергетичних, інформаційних та функціональних характеристик [45–48].

Подальший розвиток системного підходу до проектування засобів підводної робототехніки відображено у наукових працях професора Блінцова В. С. та його наукової школи (Бабкін Г. В., Буруніна Ж. Ю., Киристюк О. М., Клочков О. П., Костенко Д. В., Куценко П. С., Нужний С. М., Надточій В. А., Надточій А. В.). У працях цих науковців вперше розглядається проектування СППС, невід'ємними складовими яких є врахування гідродинамічного впливу КТ, роботи кабельної лебідки та ПЕК, а також роботи СН СППС [49; 50]. Розглядається розрахунок КТ в динаміці та в умовах квазістаціонарного руху, а також його вплив на енергетику СППС [2]. Вперше значна увага приділяється синтезу САК СППА та СППС у цілому, зокрема з застосуванням елементів штучного інтелекту [47; 51–53].

Однак, вказані наукові результати рекомендують методи проектування СППС як множину окремих складових, взаємний вплив яких враховується не у повній мірі, зокрема, без врахування системних зв'язків між проектними рішеннями, що приймаються.

З позиції системного підходу до проектування СППС перший крок було зроблено професором НУК Вашедченко А. М., який запропонував рівняння існування мас та об'ємів СППА, а також рівняння балансу потужності СППА [39]. Проте, ним було розглянуто тільки одну складову системного підходу, а саме

рівняння балансу мас та об'ємів СППА. Інші складові сучасної методології проектування нової техніки – енергетична, інформаційна та функціональна – у відомих авторам роботах до цього часу не розглядалися.

1.3 Постановка задачі удосконалення проектування СППА на основі системного підходу

Виконаний аналіз методів та підходів до проектування дає змогу сформулювати наступний напрямок удосконалення проектування СППС – удосконалення на основі системного підходу та рівнянь існування як теоретичного підґрунтя для пошуку ефективних проектних рішень на ранніх стадіях їх створення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на основі застосування системного підходу виконати синтез рівнянь існування СППС як об'єкта проектування, які кількісно характеризують конструктивні, енергетичні, інформаційні та функціональні характеристики створюваних підводних систем; це дасть змогу вже на ранніх стадіях проектування встановити їх відповідність вимогам ТЗ і, таким чином, зменшити витрати ресурсів проекту та підвищити його якість;
- визначити особливості математичного моделювання як сучасного інструментарію дослідження квазістаціонарних та динамічних режимів роботи СППС та встановити взаємні зв'язки між їх експлуатаційними параметрами та конструктивними характеристиками;
- запропонувати концепцію проектування СППС, яка ґрунтується на послідовності «підводна місія – підводна технологія – підводна робота» та розробити узагальнену методику проектування таких систем на основі системного підходу та рівнянь існування СППС;
- виконати перевірку працездатності розробленої узагальненої методики на прикладах проектів створення СППС.

Розділ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

2.1 Основні складові процесу проектування СППС з позицій системного аналізу

Розв'язок науково-прикладної задачі удосконалення проектування СППС реалізуємо на основі системного підходу та рівнянь існування окремих її складових із застосуванням окремих критеріїв, які дають змогу на поточних стадіях проектування оцінити ефективність проектних рішень.

Це утворює теоретичне підґрунтя для пошуку ефективних проектних рішень вже на ранніх стадіях їх проектування, що суттєво підвищує достовірність цих рішень та зменшує витрати проектних ресурсів (зокрема, часу виконання проекту).

Виходячи з п.р. 1.3, системний підхід у даній роботі – це комплексне врахування всіх складових процесу проектування як єдиного цілого з позицій системного аналізу, яке передбачає формулювання завдання створення вискоефективних та конкурентноздатних СППС та його структуризацію в серію прикладних науково-дослідницьких завдань.

Розв'язки цих завдань мають враховувати взаємні зв'язки між складовими процесу і, як наслідок, приводити до отримання проектних рішень, які задовольняють вимогам ТЗ за конструктивними, енергетичними, інформаційними та функціональними критеріями.

До таких складових відносяться наступні ознаки:

- конструктивні ознаки, критерії оцінки яких дають кількісну оцінку мас і об'ємів складових СППС, виконання вимог до конструкційних матеріалів, які застосовуються у

- проекти СППС, а також вимоги до оптичного маскування СППС (маскування зовнішнього виду їх складових);
- енергетичні ознаки, критерії оцінки яких дають кількісну оцінку систем енергозабезпечення складових СППС – ступінь відповідності вимогам ТЗ щодо обсягів, номіналів та якості електричних джерел енергії, яку споживають складові СППС; важливою ознакою також є рівень забезпечення енергетичної прихованості цих складових;
 - інформаційні ознаки, критерії оцінки яких дають кількісну оцінку систем інформаційного обміну між складовими СППС – форматам інформації, що передається, кількості та пропускній здатності каналів інформаційного обміну, а також вимогам ТЗ щодо інформаційної прихованості місії;
 - ознаки за призначенням (функціональні ознаки) – забезпечення вимог ТЗ до характеристик складових за призначенням СППС.

Очевидно, що для кількісної оцінки вказаних критеріїв необхідно розробити відповідний аналітичний інструментарій, який би віддзеркалював їх відповідність (на кожній ітерації процесу проектування) вимогам ТЗ. У якості такого інструментарію пропонуються рівняння існування складових СППС, складені у відповідності до вимог системного підходу та які можна представити у вигляді рівнянь існування окремо для кожної складової СППС, що проектується, за конструктивним, енергетичним, інформаційним та функціональним критеріями.

Таким чином, основною науковою ідеєю (гіпотезою) роботи є припущення про те, що магістральним шляхом підвищення ефективності проектних рішень при створенні конкурентноздатних СППС є залучення системного підходу, який розглядає проектні рішення складових СППС у їх взаємному зв'язку, які кількісно можуть бути отримані шляхом математичного моделювання квазістаціонарних та динамічних режимів її роботи, а також шляхом синтезу і впровадження у проектну практику рівнянь існування складових СППС, отриманих також на основі методології системного підходу.

У результаті має бути створено ефективний інструмент, який дає змогу конструкторам вже на ранніх стадіях проектування СППС отримати технічні рішення щодо можливості побудови СППС у відповідності до вимог ТЗ.

2.2 Загальна характеристика системного підходу як методологічної основи для створення сучасних засобів підводної техніки

Самохідний прив'язний підводний апарат відносять до класу технічних апаратів, що використовують принцип руху у воді за рахунок рушіїв, за звичай, у вигляді гребного гвинта, приводом яких є електричні двигуни підводного виконання. Вони використовують енергію, що передається по КТ, для створення рушійної сили та переміщення апарата у товщі води. На цей час СППС – це найпоширеніший тип підводних систем з великим потенціалом подальшого розвитку, а потреби загальнопромислового та оборонного секторів в таких апаратах постійно зростають [54; 55].

Як об'єкт проектування сучасний СППА являє собою складну технічну систему з розвиненою ієрархічною структурою, значним числом елементів і внутрішніх зв'язків, що зростають приблизно пропорційно квадрату числа елементів. Так, апарат сучасного СППА містить більш ніж тисячу деталей.

У будь-якому підводному апараті можна виділити ряд функціональних підсистем, що визначають у сукупності його корисні властивості. Це підсистема створення рушійної сили, підсистема, що забезпечує плавучість, підсистема забезпечення цільової функції, забезпечення керування та навігації в різних умовах переміщення та ін. Кожна з таких підсистем може містити в собі комплекс простих і складних систем та окремих елементів.

Розчленовування апарата на підсистеми, зручне для вивчення та аналізу, проте, не означає, що вони повністю автономні. Системи апарата взаємозалежні та взаємообумовлені. На-

приклад, у цей час для глибоководних маневрених апаратів широкое застосування знаходять так звані двохланкові СППС, засновані на використанні підводного гаража з метою досягнення максимальної ефективності використання енергетичних ресурсів та зручності експлуатації.

З іншого боку, СППА як основна складова СППС – це транспортний засіб, який має виконувати підводну місію за призначенням. Тільки як елемент більш складної системи, що включає СН і екіпаж, технічні засоби і персонал обслуговування апарата для його підготовки до занурення, технічні засоби і персонал для забезпечення виконання ПТР, апарат здатний виконувати певні завдання.

Отже, СППА є підсистемою складної системи більш високого ієрархічного рівня – СППС, під яким розуміється органічна комбінація матеріальних, енергетичних та інформаційних ресурсів, які забезпечують необхідні тактико-технічні (функціональні) характеристики, що забезпечує отримання певного корисного ефекту.

Відзначена специфіка СППС диктує необхідність застосування системного підходу до її проектування. Теоретичною базою такого підходу є системотехніка [56] та теорія систем [57], а також більш пізні публікації вітчизняних та зарубіжних дослідників [58; 59].

Розглянемо коротко основні принципи методології застосування системного підходу до проектування СППС.

Зазвичай, проектування такої техніки вимагає виконання низки взаємно протилежних за змістом умов.

До головних умов, зазвичай, відносяться отримання СППС;

- з мінімальними масо-габаритними характеристиками;
- з мінімальним споживанням електроенергії;
- з заданими в ТЗ інформаційно-комунікативними та експлуатаційними можливостями.

Зокрема, на сьогодні, висуваються вимоги щодо високої якості інформації про підводну обстановку, максимальної продуктивності морських операцій, що виконуються тощо [60].

Ефективним теоретичним підґрунтям проектування такої техніки є системний підхід, який дає змогу знаходити узгоджені конструкторські рішення, застосовуючи рівняння існування СППС за матеріальними та енергетичними критеріями. Як зазначалось у розділі 1, вперше його запропонував проф. Вашедченко А. М. [39] для оцінки можливостей створення автономних підводних апаратів.

Однак, застосування системного підходу у повному обсязі вимагає уведення у конструкторську практику ще двох його складових – інформаційної та функціональної (експлуатаційної), які б враховували досягнення конструктором СППС головної мети проектування – розв'язку (за умови виконання всіх попередніх вимог до його конструкції) задачі щодо інформаційної та функціональної ефективності створюваного СППС.

Розглянемо процес проектування СППС з позицій системного підходу, коли в основу проектних розрахунків покладено систему рівнянь існування створюваної СППС за матеріальним $M_{\text{СППС}}$, енергетичним $E_{\text{СППС}}$, інформаційним $I_{\text{СППС}}$ та функціональним $J_{\text{СППС}}$ критеріями.

Узагальнена структурна схема взаємозв'язків між рівняннями існування для кожної складової СППС, побудована на основі системного підходу, наведена на рис. 2.1.

Як видно з рисунку, проектування СППС можна представити у вигляді чотирьох взаємно зв'язаних процесів: проектування енергетичних підсистем складових СППС (критерій $E_{\text{СППС}}$), проектування інформаційних підсистем складових СППС (критерій $I_{\text{СППС}}$), проектування складових СППС як інженерних конструкцій (критерій $M_{\text{СППС}}$), а також оцінка функціональних можливостей СППС та окремих її складових (оцінка спроможності СППС виконувати підводні місії за призначенням, критерій $J_{\text{СППС}}$). Саме для цих процесів проектування СППС доцільно використовувати відповідні рівняння існування.



Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема взаємозв'язків між рівняннями існування для складової СППС, побудована на основі системного підходу

Тоді завдання проектування СППС буде полягати у визначенні конструктивних параметрів та експлуатаційних характеристик його складових

$$EE_{M, E, I, J} = \{СППА; КТ; КЛ; СПП; СН\}, \quad (2.1)$$

які б задовольняли вимогам замовника, сформульованим у ТЗ на створення такої системи.

Слід зазначити, що досвід використання рівнянь існування в задачах дослідницького проектування існує в авіаційній промисловості та суднобудуванні.

Так, на цей час дослідники і конструктори новостворюваних літаючих об'єктів, в основному, у своїй практиці використо-

вують лише рівняння існування літаючого апарата (формула Можайського), яке оперує з масами його складових [61]:

$$m_0 = \frac{m_{\text{equipment}} + m_{\text{fuel}} + m_{\text{engines}}}{1 - (\xi_{\text{fuselage}} + \xi_{\text{wing}} + \xi_{\text{tail}} + \xi_{\text{cockpit}} + \xi_{\text{fuel system}} + \xi_{\text{chassis}} + \xi_{\text{equipment}})}, \quad (2.2)$$

де m_0 – злітна маса гіпотетичного ЛА; $\xi_i = m_i / m_0$ – відносна маса i -го елемента, що є відношенням маси елемента конструкції ЛА до злітної маси ЛА; m_{fuselage} – маса фюзеляжа; m_{wing} – маса крила та посадочної механізації; m_{tail} – маса хвостового оперіння; m_{cockpit} – маса кабіни екіпажу; $m_{\text{engines}} = k_{\text{en}} \cdot m_{\text{en}}$ – маса силової установки, де k_{en} – кількість двигунів, а m_{en} – маса одного двигуна; $m_{\text{equipment}} = k_{\text{eq}} \cdot m_{\text{eq}}$ – маса екіпажу, де k_{eq} – кількість членів екіпажу, а m_{eq} – маса одного члена екіпажу в льотному спорядженні; $m_{\text{fuel system}}$ – маса паливної системи; m_{fuel} – маса палива; m_{chassis} – маса шасі та посадочних пристроїв; $m_{\text{equipment}}$ – маса авіаційного і радіо-та іншого обладнання; m_{cargo} – маса корисного навантаження.

У теорії проектування суден [62; 63] для оцінки проектних рішень щодо плавучості судна використовуються рівняння мас і об'ємів:

$$D = \rho \cdot V; \quad (2.3)$$

$$V = \delta \cdot L \cdot B \cdot T, \quad (2.4)$$

де D – маса судна, т; ρ – щільність води, т/м³; V – об'єм підводної частини судна, м³; δ – коефіцієнт загальної повноти судна; L , B , T – головні розміри судна, м.

Для підводного робота в [39] по аналогії з (2.3) пропонується рівняння мас і об'ємів у вигляді:

$$M_{\Sigma_{\text{ПР}}} = \rho \cdot V_{\Sigma_{\text{ППО}}}, \quad (2.5)$$

де $M_{\Sigma_{\text{ПР}}}$ – сумарна маса всіх елементів підводного робота; $V_{\Sigma_{\text{ППО}}}$ – сумарний постійний плавучий об'єм підводного робота.

Крім того, у роботі [39] вперше вказано на домінуючу роль балансу потужності підводного робота та запропоновано базові рівняння для прив'язного та автономного підводних роботів:

$$N_{\Sigma_{\text{пр}}} = N_{\text{К-Т.Н}} \cdot k_{\text{ТПер}} \cdot k_{\text{Пер}} \cdot \eta_{\text{К-Т}}, \quad (2.6)$$

$$N_{\Sigma_{\text{пр}}} = \frac{A}{T_{\Sigma}}, \quad (2.7)$$

де $N_{\Sigma_{\text{пр}}}$ – сумарна споживана потужність підводного робота; $N_{\text{К-Т.Н}}$ – номінальна потужність, яка передається по КТ СППА; $k_{\text{ТПер}}$ – коефіцієнт часу припустимого навантаження; $k_{\text{Пер}}$ – коефіцієнт перевантаження; $\eta_{\text{К-Т}}$ – коефіцієнт втрат потужності у КТ; A – енергоємність бортового джерела живлення для автономного підводного апарата; T_{Σ} – сумарний час роботи автономного підводного апарата.

Слід зазначити, що рівняння (2.6) описує баланс потужності лише для однієї складової СППС, а саме, її КТ, що недостатньо для повного аналізу та оцінки проектних рішень з енергетики СППА у цілому.

Наведена вище інформація свідчить, що на цей час у теорії проектування рухомих технічних об'єктів частково використовуються рівняння існування за матеріальним $M_{\text{СППС}}$ та, частково, за енергетичним $E_{\text{СППС}}$ критеріями, які відповідають концепції застосування системного підходу.

Проте, на цей час у рамках загальної теорії СППС не розроблено у повному обсязі методологію застосування системного підходу.

Так, подальшого розвитку потребують рівняння існування за енергетичним критерієм та розробки рівнянь існування за інформаційним $I_{\text{СППС}}$ та функціональним $J_{\text{СППС}}$ критеріями.

Тому перспективним для проектування і побудови високо-ефективних та конкурентноздатних на ринку морської робототехніки СППС є удосконалення методологічної основи їх

проектування на основі системного підходу та рівнянь існування за його основними критеріями: матеріальним $M_{\text{СППС}}$, енергетичним $E_{\text{СППС}}$, інформаційним $I_{\text{СППС}}$ та функціональним $J_{\text{СППС}}$.

2.3 Етапи проектування СППС

Розглянемо етапи цього процесу і дамо характеристику завдань, що розв'язуються на кожному з них.

Безпосередньому проектуванню передують етапи визначення вимог до апарата, що здійснюється спільно замовником і проектною організацією. На цьому етапі (іноді його називають зовнішнім проектуванням) на основі параметричних досліджень перспективних апаратів як елементів пошукової чи транспортної системи, аналізу їх взаємодії з компонентами комплексу, у якому вони будуть функціонувати, прогноуються необхідні загальні характеристики майбутнього апарата. При цьому здійснюються розрахунки по визначенню та оптимізації техніко-економічних показників експлуатації майбутнього апарата, згідно ПТР, що він виконуватиме. У результаті цієї роботи визначаються необхідні техніко-економічні і тактико-технічні характеристики апарата, що дозволяють сформулювати вимоги на його проектування – ТЗ. Слід підкреслити, що обґрунтоване завдання вимог багато в чому визначає успіх програми створення нового апарата.

Метою наступного етапу проектування, що називається розробкою технічних пропозицій (попереднє проектування), є вибір схеми і визначення найліпшої комбінації основних параметрів апарата і його систем, що забезпечують виконання заданих вимог, або обґрунтування необхідності їх коректування.

На цьому етапі на основі аналізу ТЗ, ідей головного конструктора, досвіду конструкторського бюро та рекомендацій НДІ формується концепція апарата, розробляється його аванпроект. При цьому визначаються в першому наближенні основні геометричні, вагові та енергетичні характеристики проектованого

апарата, а також формуються закони керування їм на різних ділянках траєкторії для різних, передбачених вимогами, режимів виконання ПТР.

Це етап синтезу вигляду та визначення основних розмірів апарата, у процесі якого зв'язуються воедино різні аспекти проектування СППА, що стосуються дослідження його геометричних, вагових, гідродинамічних характеристик, швидкісних характеристик рушіїв, структури устаткування і спорядження, технічних даних і режимів руху.

Вихідною інформацією цього етапу є креслення загальних видів раціонального варіанта апарата, а також документація про його технічні, економічні і експлуатаційні характеристики. На підставі цих матеріалів компетентні органи ухвалюють рішення щодо доцільності подальшої розробки проєкту.

У процесі ескізного проектування отримані раніше геометричні, вагові та енергетичні параметри літака втілюються в конкретне конструктивне компонування, що відповідає різним, досить суперечливим вимогам, у тому числі експлуатаційним і технологічним.

У процесі компонування уточнюють центрування апарата, розрахунок якої передувє складання вагового зведення на основі міцностних і вагових розрахунків елементів апарата і енергетичного забезпечення, відомостей устаткування, спорядження і т.д.

У процесі ескізного проектування звичайно проводять широкі теоретичні та експериментальні дослідження елементів і систем апарата. Виготовляють і протягують в дослідних басейнах моделі апарата і його окремих елементів.

За результатами цих досліджень уточнюють гідродинамічний розрахунок, розрахунки стійкості і керованості, а також характеристик гідропружності.

На підставі цих розрахунків вносять відповідні виправлення в компонування апарата, уточнюють вагові розрахунки. Будують макет апарата, що дозволяє зробити взаємне просторове зв'язування агрегатів і систем апарата, розміщення обладнання [64].

Підсумок цього етапу – ескізний проєкт; він подає інформацію про уточнені характеристики апарата, а також про форму, розміри і взаємне розташування основних вузлів і функціональних елементів апарата. Макетна комісія робить комплексну оцінку проєкту, необхідну для ухвалення рішення про розробку робочого проєкту і його реалізації.

Заключний етап процесу проектування – робоче проектування; він спрямований на практичну реалізацію заявлених характеристик і параметрів апарата.

На цьому етапі випускається вся технічна документація, необхідна для виготовлення, складання, монтажу як окремих агрегатів і систем, так і апарата в цілому.

Розробляються креслення загальних видів агрегатів апарата, складальні і детальні креслення окремих його частин.

Проводяться:

- експериментально-дослідницькі роботи, пов'язані із впровадженням нових матеріалів, типів конструкцій;
- статичні і динамічні міцності та ресурсні випробування конструкцій;
- стендові випробування систем устаткування, керування.

При цьому уточнюються вагові розрахунки і розрахунки на міцність усіх елементів конструкції. Інформація, отримана на цьому етапі, дозволяє уточнити дані про проєкт і внести відповідні корективи в розрахунки, виконані на попередніх етапах.

У процес проектування слід також включити виготовлення дослідних зразків апаратів і їх випробування – лабораторні і морські, оскільки в ході цих випробувань визначаються фактичні характеристики апарата і ступінь забезпечення вимог ТЗ. На підставі цієї інформації ухвалюється розв'язок про внесення змін у проєкт.

При виготовленні дослідних зразків здійснюється відпрацювання технічної документації і технології виготовлення СППС. За підсумками цього етапу ухвалюється розв'язок про запуск системи в серійне виробництво.

Аналіз показує, що проектування – складний, багатетапний процес. Істотним є те, що цей процес звичайно ітераційний, причому ітерації здійснюються не тільки між основними етапами проектування, але і усередині кожного з них.

Від того, наскільки правильні розв'язки ухвалюються на ранніх етапах, часто залежить доля проекту, і не тільки тому, що помилки, допущені на ранніх етапах розробки проекту, призводять до занадто більших витрат засобів і часу на його доробку в процесі робочого проектування і виготовлення, але й тому, що від них може взагалі залежати можливість реалізації проекту [56].

Щоб забезпечити гарантію успіху програми створення сучасного апарата в умовах обмежених матеріальних ресурсів і термінів розробки, потрібен більш високий ступінь точності прогнозування характеристик апарата при його проектуванні вже на ранніх стадіях проектування.

У цих умовах зростає роль комп'ютерного (що використовує математичні моделі функціонування складових СППС), напівнатурних (моделювання з реальною апаратурою, при якому частина системи моделюється, а інша частина є реальною) і морських натурних експериментів на можливо більш ранніх етапах розробки проекту.

Відомо, що проектування складного технічного об'єкта – ітераційний процес послідовного наближення до заданих у ТЗ характеристик. Застосування рівнянь існування у поєднанні з комп'ютерним моделюванням ключових залежностей та процесів об'єкту розробки дасть змогу суттєво розширити варіантність проектування, ступінь наближення до найкращого розв'язку за більш короткий час, тобто підвищити якість проектування і знизити строки розробки проекту.

Нижче наводяться основні відомості про математичні моделі двох основних складових складових СППС – СППА та КТ, які створені науковою школою «Підводна техніка» НУК та добре себе зарекомендували при виконання наукових досліджень на інженерних робіт. Укрупнена схема процесу розробки проекту та структура моделюючого комплексу представлені на рис. 2.2, а [56].

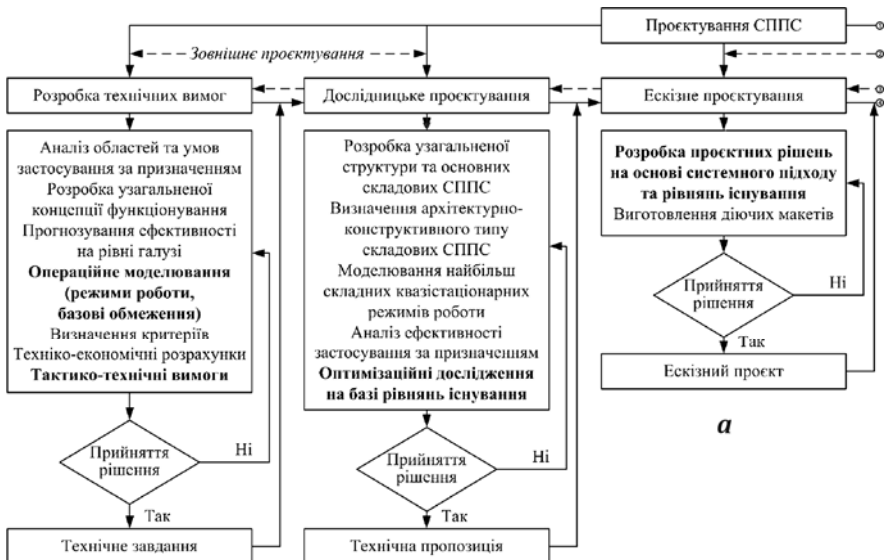


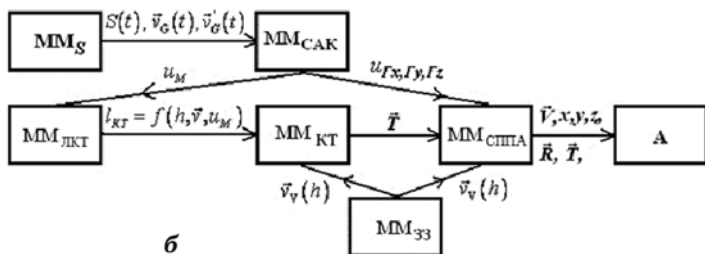
Рисунок 2.2 – Укрупнена схема процесу розробки проєкту СППС (а)
та структура спеціалізованого моделюючого комплексу (б)

2.4 Математичне моделювання як інструментарій для оперативної перевірки ефективності проєктних рішень при розробці СППС

2.4.1 Загальні зауваження

Досвід наукової школи «Підводна техніка НУК» у проєктуванні, створенні та експлуатації СППС свідчить, що математичне моделювання, у першу чергу, застосовується для [46]:

- вивчення їх властивостей СППС та окремих її складових у квазістаціонарних та динамічних режимах;
- перевірки ефективності систем автоматичного керування підводними місіями;
- дослідження ефективності реалізації підводних роботизованих технологій (продуктивності, площі робочої зони, якості виконання місії тощо).



б

Так, комп'ютерне моделювання СППС, організоване з залученням розроблених математичних моделей її складових, дає змогу дослідити керованість та маневреність цього виду підводної робототехніки, межі його робочої зони в умовах дії зовнішніх збурень та витрати часу на виконання ПТР з заданою якістю.

Ці та інші можливості комп'ютерного моделювання дають йому суттєві переваги перед іншими технологіями проєктування і дослідження, особливо на ранніх стадіях розробки, коли навіть про напівнатурні випробування не йдеться.

У роботі основну увагу приділено тим складовим рівнянь існування СППС, які забезпечують оцінку вивчення їх властивостей у квазістаціонарних та перехідних режимах та оцінку ефективності застосування самохідних прив'язних підводних систем при виконанні ПТР за призначенням. Це рівняння існування для СППА, КТ і ЛКТ. Тому у якості інструменту дослідження обрано

спеціалізований моделюючий комплекс, який розроблено в НУК [65] і який добре зарекомендував себе при виконанні суто дослідницьких робіт.

Надамо пояснення до структури спеціалізованого моделюючого комплексу (рис. 2.2, б).

На рисунку позначено: MM_S – блок завдання траєкторій руху СППА та інших змінних, A – блок обробки і аналізу результатів моделювання, S – опис заданих траєкторій руху, $\vec{v}_G$ – швидкість руху СППА відносно ґрунту, l_{KT} – довжина попущеної частини КТ, u_M – режимний сигнал, h – поточне значення глибини, $\vec{T}$ – сила натягу КТ, $u_{\Gamma x, \Gamma y, \Gamma z}$ – сигнали керування РКК СППА, $\vec{V}$ – швидкість набігаючого потоку води, $\vec{v}_V$ – епюр течії по глибині, $\vec{R}$ – вектор упорів рушійного комплексу, x, y, z – координати СППА відносно СН.

Модель СППА (його корпусу та РКК) для квазістаціонарного та динамічного режимів функціонування, а також квазістаціонарної моделі КТ в [65] побудовано з наступними припущеннями:

- СППС постійно рухається відносно потоку води, тобто $\vec{V}_f \neq 0$;
- СППА та СН в просторі розташовуються носом проти потоку води;
- кути крену і диференту СППА та рівнодіюча зовнішніх моментів $\vec{M}_{СППА}$ дорівнюють нулю.

Два останніх припущення на практиці забезпечуються системами автоматичного керування, блоком плавучості апарата, додатковими виконавчими механізмами [66].

Таким чином, осі жорстко зв'язаної з корпусом СППА системи координат (ЗСК) паралельні відповідним осям напівзв'язаної з СН системи координат (НСК) [67], а СППА має три степені свободи по трьом осям НСК, його РКК забезпечує переміщення СППА по кожній осі НСК.

Квазістаціонарний режим руху СППА відносно води характеризується тим, що в НСК кожному вектору сили від РКК $\vec{F}_{ep}$ та швидкості потоку води $\vec{V}_f$ відповідає вектор розташування СППА у просторі відносно СН $\vec{R}_{\Pi P}$ при заданих характеристиках КТ, корпусу та РКК СППА. Вказана особливість обумовлена наявністю КТ.

При завданні упорів РКК, рівними деякій величині, почнеться перехідний процес – СППА буде рухатись, поки відповідний упор РКК не урівноважиться векторами сил КТ та лобового опору СППА.

Після закінчення перехідного процесу СППА займає кінцеве просторове положення відносно СН і всі елементи СППС будуть рухатись в потоці води з незмінною швидкістю, але будуть нерухомими один відносно одного.

Тому вхідними значеннями комплексу приймають масив U сигналів керування РКК СППА та швидкість переміщення системи відносно води $\vec{V}_f$, вихідними – розташування СППА в просторі в НСК.

При квазістаціонарному русі СППС з урахуванням вказаних припущень, рівнодіючу зовнішніх сил $\vec{F}_{\Pi P}$, які діють на СППА, приймаємо рівною нулю, це дає змогу виключити з розрахунку перехідний процес:

$$\vec{F}_{\Pi P} = \vec{F}_{ep} + \vec{F}_f + \vec{F}_{cabf} = 0, \quad (2.8)$$

де $\vec{F}_f$, $\vec{F}_{cabf}$ – відповідно, вектори сил, які виникають внаслідок взаємодії корпусу СППА та КТ з потоком води.

2.4.2 Математична модель СППА

Рух СППА розглядається відповідно до законів механіки твердого тіла в тривимірному просторі з шістьма ступенями свободи. Три з них характеризують лінійні переміщення центра мас, інші три – обертання твердого тіла відносно центра мас.

Кожному ступеню свободи відповідає одна швидкісна координата, у якості якої виступає проекція вектора лінійної або кутової швидкості на відповідну вісь ЗСК.

В роботі [65] корпус підводного апарата прийнято за еліпсоїд обертання, динаміка якого описується наступними системами рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{xr} \frac{dV_{xr}}{dt} + m_{zr} \omega_{yr} V_{zr} - m_{yr} \omega_{zr} V_{yr} = F_{xr}; \\ m_{yr} \frac{dV_{yr}}{dt} + m_{xr} \omega_{zr} V_{xr} - m_{zr} \omega_{xr} V_{zr} = F_{yr}; \\ m_{zr} \frac{dV_{zr}}{dt} + m_{yr} \omega_{xr} V_{yr} - m_{xr} \omega_{yr} V_{xr} = F_{zr}; \\ J_{xr} \frac{d\omega_{xr}}{dt} = M_{xr}; \\ J_{yr} \frac{d\omega_{yr}}{dt} + \omega_{xr} \omega_{zr} (J_{xr} - J_{zr}) + V_{xr} V_{zr} (m_{xr} - m_{zr}) = M_{yr}; \\ J_{zr} \frac{d\omega_{zr}}{dt} + \omega_{xr} \omega_{yr} (J_{yr} - J_{xr}) + V_{xr} V_{yr} (m_{yr} - m_{xr}) = M_{zr}; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{xr} = m + k_{11} \rho V_{dis}; \\ m_{yr} = m_{zr} = m + k_{22} \rho V_{dis}; \\ J_{xr} = J_{ROVx}; \\ J_{yr} = J_{zr} = J_{ROVy} + k_{55} J_{wy}; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{wx} = 0, 4 \rho V_{dis} b^2; \\ J_{wy} = J_{wz} = 0, 2 \rho V_{dis} (a^2 + b^2), \end{array} \right.$$

де m_{xr} , m_{yr} , m_{zr} – маса СППА з приєднаними масами води по відповідних осях ЗСК; V_{xr} , V_{yr} , V_{zr} – проекції вектора $\vec{V}_{ROV}$ на відпо-

відні осі ЗСК; $\omega_{xr}, \omega_{yr}, \omega_{zr}$ – проекції вектора швидкості обертowego руху центра мас СППА $\vec{\Omega}_{\text{ПР}}$ у просторі на відповідні осі ЗСК; F_{xr}, F_{yr}, F_{zr} – проекції вектора рівнодіючої зовнішніх сил $\vec{F}_{\text{ПР}}$, що мають вплив на корпус СППА, на відповідні осі ЗСК; J_{xr}, J_{yr}, J_{zr} – моменти інерції СППА з приєднаними моментами інерції відносно відповідних осей ЗСК; M_{xr}, M_{yr}, M_{zr} – проекції вектора рівнодіючої зовнішніх моментів $\vec{M}_{\text{РОВ}}$, що мають вплив на корпус СППА, на відповідні осі ЗСК; m – маса СППА; V_{dis} – об'єм СППА (водотоннажність); k_{11}, k_{22}, k_{55} – безрозмірні коефіцієнти приєднаних мас і моментів інерції; $J_{\text{РОВ}x}, J_{\text{РОВ}y}, J_{\text{РОВ}z}$ – моменти інерції СППА відносно відповідних осей ЗСК; J_{wx}, J_{wy}, J_{wz} – моменти інерції води, замкненої в об'ємі V_{dis} , відносно відповідних осей ЗСК; a і b – відповідно довжина і висота СППА.

Коефіцієнти k_{11}, k_{22}, k_{55} нелінійні, і визначаються з графічних залежностей за відомою методикою [63].

2.4.3 Моделювання дії зовнішніх сил і моментів, що мають вплив на корпус підводного апарата

Всі зовнішні сили та моменти можна розділити на такі основні категорії: сили і моменти ваги та плавучості; гідродинамічні сили та моменти на корпусі, що виникають в результаті взаємодії з потоком води; керуючі сили та моменти, які створюються засобами керування СППА; сили та моменти, обумовлені дією КТ. Таким чином, рівнодіючі сил $\vec{F}_{\text{ПР}}$ і моментів $\vec{M}_{\text{ПР}}$, що діють на СППА, визначатимемо за залежностями:

$$\begin{cases} \vec{F}_{\text{ПР}} = \vec{F}_{ep} + \vec{F}_f + \vec{F}_{cabf}; \\ \vec{M}_{\text{ПР}} = \vec{M}_{ep} + \vec{M}_f + \vec{M}_A, \end{cases} \quad (2.9)$$

де $\vec{F}_{ep}, \vec{M}_{ep}$ – відповідно вектори сил і моментів засобів керування; $\vec{F}_f, \vec{M}_f$ – відповідно вектори сил і моментів, які

виникають внаслідок взаємодії корпусу СППА з потоком води; $\vec{F}_{cabf}$ – вектор сили натягу від КТ; $\vec{M}_A$ – сумарний момент, викликаний дією сили плавучості СППА.

Якщо вектори $\vec{F}_{\Pi P}$ та $\vec{M}_{\Pi P}$ представити їх проекціями на осі ЗСК, то рівняння (2.9) набуває вигляд:

$$\begin{cases} F_{xr} = F_{epx} + F_{fxr} + F_{cabfxr}; \\ F_{yr} = F_{epy} + F_{fyr} + F_{cabfyr}; \\ F_{zr} = F_{epz} + F_{fzr} + F_{cabfzr}; \\ M_{xr} = M_{epx} + M_{fxr} + M_{Axr}; \\ M_{yr} = M_{epy} + M_{fyr} + M_{Ayr}; \\ M_{zr} = M_{epz} + M_{fzr} + M_{Azr}. \end{cases} \quad (2.10)$$

При квазістаціонарному русі СППС бокова та вертикальна складові сили гідродинамічного походження $\vec{F}_f$ дорівнюють нулю. Згідно з припущеннями, прийнятими в роботі [65] для квазістаціонарного руху системи, рівняння (2.10) записують у проекціях на осі ЗСК, які будуть паралельні відповідним осям НСК:

$$\begin{aligned} F_{xr} &= F_{epx} + F_{fxr} + F_{cabfxr} = 0; \\ F_{yr} &= F_{epy} + F_{cabfyr} = 0; \\ F_{zr} &= F_{epz} + F_{cabfzr} = 0. \end{aligned}$$

2.4.4 Математична модель динаміки рушійного комплексу СППА

Просторовий рух СППА здійснюється за допомогою РКК, який складається з електрорушійних пристроїв (ЕРП) маршового, вертикального та лагового рухів. Кожний ЕРМ містить гребний гвинт (ГГ), який через редуктор-валопровід (РВ) приводиться

до руху електродвигуном (ЕД) постійного струму з незалежним збудженням.

Математична модель кожного ЕРП, яка використана у [65], описується такими нелінійними диференціальними рівняннями:

$$L_{ep} \frac{di_{ep}}{dt} = K_u u_{ep} - r_{ep} i_{ep} - \frac{c_{ep} \Phi_{ep}}{k_g} \omega_{ep};$$

$$J_{ep} \frac{d\omega_{ep}}{dt} = M_{ep} - Q_{ep};$$

$$M_{em} = c_{ep} \Phi_{ep} i_{ep};$$

$$M_{ep} = \frac{1}{k_g} M_{em};$$

$$J = \frac{2\pi V_{ep}}{\omega_{ep} D_{ep}};$$

$$Q_{ep} = \begin{cases} \frac{K_Q \rho D_{ep}^5}{4\pi^2} \omega_{ep}^2 & \text{при } J \in [-1; 1]; \\ K_q \rho D_{ep}^3 V_{ep}^2 & \text{при } J^{-1} \in (-1; 1); \end{cases}$$

$$F_{ep} = \begin{cases} \frac{K_F \rho D_{ep}^4}{4\pi^2} \omega_{ep}^2 & \text{при } J \in [-1; 1]; \\ K_f \rho D_{ep}^2 V_{ep}^2 & \text{при } J^{-1} \in (-1; 1), \end{cases}$$

де L_{ep} – індуктивність якоря ЕД; i_{ep} – миттєве значення електричного струму якоря ЕД; K_u – коефіцієнт підсилення регулятора напруги ЕД; u_{ep} – керуючий сигнал регулятора напруги ЕД; r_{ep} – опір якоря ЕД; c_{ep} , Φ_{ep} – електромагнітні параметри ЕД; k_g – коефіцієнт передачі редуктора; ω_{ep} – частота обертання гребного гвинта; J_{ep} – сумарний момент інерції системи «ЕД – РВ – ГГ», приведений до ГГ; M_{em} – рушійний момент ЕД; M_{ep} – рушійний момент ЕД, приведений до ГГ; J – відносний

поступ ГГ; V_{ep} – проекція вектора швидкості переміщення ЕРП відносно води на вісь прямого ходу ЕРП; D_{ep} – діаметр ГГ; Q_{ep} – гальмівний момент ГГ; $K_Q = f(J)$ та $K_q = f(J^{-1})$ – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують момент гребного гвинта; r – питома густина води; F_{ep} – рушійна сила (упор) гребного гвинта; $K_F = f(J)$ та $K_f = f(J^{-1})$ – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують упор гребного гвинта.

Коефіцієнти K_Q, K_q, K_F, K_f є нелінійними і визначаються за відомими методиками [63].

2.4.5 Математична модель кабель-тросу в площині в режимі квазістаціонарного руху

СППА розробляються таким чином, щоб забезпечити мінімальний збурюючий момент від КТ. Це досягається шляхом кріплення вузла вводу до ПАР на спеціальних шарнірах.

Тому в [65] прийнято, що збурюючий момент від КТ дорівнює нулю і на СППА діє тільки збурююча сила від КТ. Тут КТ моделюється абсолютно гнучкою ниткою з нульовою плавучістю, яка має форму круга в перерізі і рухається відносно водної товщі в квазістаціонарному режимі. При русі в потоці води на такому КТ виникають сили гідродинамічного опору. Розтяжність КТ нехтують. У більшості випадків СППС працюють при швидкості течії $V_f < 3$ м/с, тому визначення конфігурації КТ в просторі зведено до розв'язання плоскої задачі:

$$\begin{cases} \frac{dx_{cab}}{dL} = \cos(\alpha); & \frac{dy_{cab}}{dL} = \sin(\alpha); \\ \frac{d\alpha}{dL} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_n \cdot D_{cab} \cdot \frac{V_f \cdot |V_f| \cdot |\sin(\alpha)| \cdot \sin(\alpha)}{F_{cab}}; \\ \frac{dF_{cab}}{dL} = -\frac{1}{2} \rho \cdot C_t \cdot D_{cab} \cdot V_f \cdot |V_f| \cdot |\cos(\alpha)| \cdot \cos(\alpha), \end{cases} \quad (2.11)$$

де $x_{cab}(L)$ – координата елемента КТ по осі абсцис; $y_{cab}(L)$ – координата елемента КТ по осі ординат; L – довжина попущеної частини КТ; $\alpha(L)$ – кут між дотичною до елемента КТ і віссю абсцис; ρ – питома густина води; D_{cab} – діаметр КТ; V_f – абсолютне значення швидкості потоку води (течії) відносно КТ; $F_{cab}(L)$ – модуль сили натягу на елементі КТ; C_n – коефіцієнт нормальної складової гідродинамічного опору КТ; C_t – коефіцієнт тангенціальної складової гідродинамічного опору КТ.

2.4.6 Математична модель лебідки кабель-троса

Як об'єкт моделювання в [65] ЛКТ містить мотор-редуктор (МР) і кабельний барабан (КБ). Лебідка шляхом попускання-вибирання КТ забезпечує досягнення апаратом заданої точки підводного простору у діаметральній площині (ДП) СППС. Керування ЛКТ виконується з використанням сенсорів швидкості попускання/вибирання кабель-тросу v_L та фактичної довжини попущеної частини КТ L , а також сенсора натягу КТ F_{cab0} на його корінному кінці.

На вхід математичної моделі мотор-редуктора подається сигнал керування u_{GM} , за яким розраховується частота обертання барабану ЛКТ ω_{GM} . Довжина попущеної частини КТ L розраховується в математичній моделі КБ. Таким чином, роботу ЛКТ описуємо системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = R \int \omega_{GM} dt + L_0; \\ M_{GM} = R F_{cab0}; \\ J_G \frac{d\omega_{GM}}{dt} = M_{EM} k_G - M_{GM}; \\ M_{EM} = k_{EM} u_{GM}; \\ v_L = \frac{dL}{dt}, \end{array} \right.$$

де R – радіус барабана ЛКТ; L_0 – початкове значення довжини попущеної частини КТ; M_{GM} – гальмівний момент МР, який виникає внаслідок дії сили натягу F_{cab0} на КБ; J – момент інерції системи «МР – КБ», приведений до осі КБ; M_{EM} – крутильний момент електродвигуна МР; k_G – коефіцієнт передачі МР; k_{EM} – коефіцієнт підсилення електродвигуна МР.

У такій постановці модель ЛКТ задовольняє вимогам, які висуваються для дослідження квазістаціонарних та динамічних режимів функціонування СППС.

Розділ 3

СИНТЕЗ РІВНЯНЬ ІСНУВАННЯ САМОХІДНОЇ ПРИВ'ЯЗНОЇ ПІДВОДНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Загальні положення стосовно синтезу рівнянь існування СППС суднового базування

У випадку суднового базування СППС, зазвичай, має виконувати пошук, обстеження та класифікацію підводних потенційно небезпечних об'єктів (ППНО), а також розв'язувати оборонні задачі (гуманітарного розмінування, антитерористичні тощо) [54; 68; 69]. Для пошуку ППНО СППА у складі системи має бути обладнаний кольоровою та чорно-білою відеокамерою.

Перевага чорно-білої камери полягає в отриманні кращого відеоряду та контрастності при наявності у воді мілких домішок органічного та неорганічного походження (водоростей, мулу тощо) або при роботі без достатнього освітлення.

Для знешкодження донних мін СППА має нести у якості корисного вантажу підривний патрон (ПП). Для боротьби з якірними мінами на борту апарата має знаходитися різак мінрепу.

Протидиверсійні задачі виконуються при наявності на борту СППА гідролокатора секторного огляду (ГСО), а при виявленні порушника має бути присутній пристрій активного впливу, що генерує звук певної частоти під водою, а також вид локалізую чого засобу [70].

Для обстеження корабля на плаву СППА має оснащуватися додатковими технологічними камерами, зачисною щіткою, товщиноміром.

Закладення проєкту на побудову СППА є заходом, до реалізації якого необхідно приступати, знаючи наступні фактори:

- а) вид носія СППС (СН, гелікоптер), ключовим елементом якого і є СППА та місце проведення ПТР – відкрите море, з причалу, обмежений водний простір тощо;
- б) шляхи енергетичного та інформаційного забезпечення СППА;
- в) експлуатаційні параметри апарата (швидкість руху, глибина занурення);
- г) конструктивні характеристики СППА, що напряду залежать від експлуатаційних параметрів (маса та розміри апарата);
- г) кількість персоналу та заходи, які будуть застосовуватися при обслуговуванні та ремонті апарата;
- д) умови зовнішнього середовища, де планується експлуатація СППА (швидкість течії та її епіюра за глибиною, температура та солоність води).

Згідно системного підходу рівняння існування мають складатися з 4-х рівнянь (нерівностей) чи систем [71]:

- рівняння існування мас та об'ємів СППС (маса та об'єм елементів і обладнання);
- рівняння енергетичного балансу СППС (вид та параметри енергетичного забезпечення елементів);
- рівняння балансу інформаційних потоків СППС (електромагнітна сумісність, стійкість до зовнішніх полів та випромінювання, завадостійкість, криптографічний захист інформаційних потоків – обмін інформаційними потоками між елементами та ПЕК);
- рівняння СППС за функціональним фактором (ергономіка, технічне обслуговування, зберігання, екологія – вплив на середовище, транспортування, низькі власні фізичні поля – зручність обслуговування елементів СППС, їх ремонту та керування ними).

Пропонується отримати рівняння існування для СППС у взаємному зв'язку експлуатаційних параметрів та конструктивних характеристик. Синтез рівнянь передбачається виконувати спочатку в рамках кожної складової, а потім ускладнювати їх, додаючи рівняння, які показують взаємний вплив складових одна на одну [4; 71; 72].

Виходячи з наведених вище умов, постала необхідність надати проєктанту інструмент, який давав би змогу визначити можливість побудови СППС та СППА в цілому на ранніх етапах проєктування при відомих вимогах до апарата і системи зі сторони Замовника.

Оцінка можливості створення СППА не може відбуватися окремо від можливості створення інших елементів СППС, таких як КТ, СПП, ЛКТ, ПЕК.

Візуалізація такої оцінки, що сформована на базі рівнянь існування за чотирма складовими представлена на рис. 3.1.

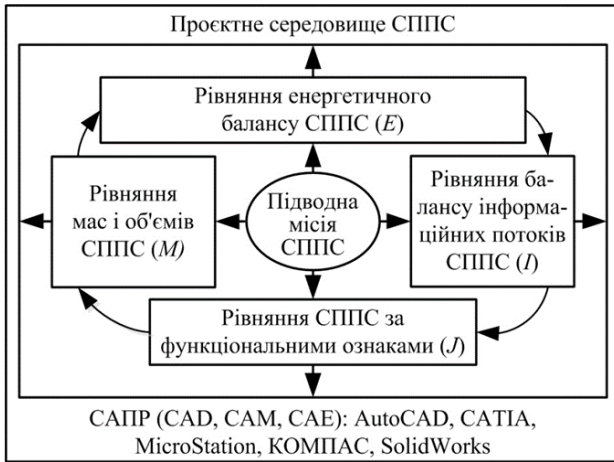


Рисунок 3.1 – Варіанти рівнянь існування прив'язного підводного апарата

Таким чином, пропонується реалізувати наведенні рівняння існування за кожним з елементів СППС, складність яких полягатиме у взаємній залежності цих рівнянь один від одного, а особливо це буде стосуватися рівнянь існування СППА, на базі котрих будуть формуватися рівняння існування інших елементів.

Це пояснюється тим, що інші елементи СППС є такими, які забезпечують роботу апарата [73].

Кінцевим інструментом оцінки можливості побудови СППС та СППА взагалі має стати методика, яка реалізується за алгоритмом.

Алгоритм у якості вхідних даних отримуватиме вимоги Замовника, який буде формувати їх зі своїх можливостей та побажань, а на виході – алгоритм даватиме відповідь про можливість побудови такого СППА чи можливість його побудови з характеристиками, які можуть не вдовольняти вимогам Замовника.

Оцінку можливості створення СППС розглянемо в процесі її проектування з позицій системного підходу, коли в основу проектних розрахунків покладено систему рівнянь існування $EE_{M,E,I}$ створюваного засобу морської робототехніки за матеріальними M , енергетичними E та інформаційними I та функціональними J критеріями [74].

Завдання проектування СППС буде полягати у визначенні конструктивних параметрів та експлуатаційних характеристик її складових $C_{СППС} = \{СППА; КТ; ЛКТ; СПП; СН\}$, які б задовольняли вимогам Замовника, сформульованим у ТЗ на створення такої системи [38; 75; 76].

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

3.2 Рівняння існування мас і об'ємів СППС

У якості матеріального критерію M для цієї складової СППС правомірним буде застосування відомих рівнянь існування мас і об'ємів підводного робота [74]:

$$M_{СППА} = \sum_{i=1}^n m_{Ai} + \sum_{j=1}^k m_{Bk} \leq M_{СППАТЗ}; \quad (3.1)$$

$$V_{СППА} = \sum_{i=1}^n v_{Ai} + \sum_{j=1}^k v_{Bk} \leq V_{СППАТЗ}, \quad (3.2)$$

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-кермовий комплекси, штатно встановлені фото-, відео- та гідро-

акустичні 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); $M_{СППАЕЗ}$, $V_{СППАЕЗ}$ – відповідно, маса та об'єм СППА, задані у ТЗ; n , k – кількість елементів СППА, відповідно, постійного та змінюваного складу.

Кожен з представлених вище елементів підводного апарата суднового базування має визначену масу та об'єм.

Зведемо в табл. 3.1 позначення цих параметрів для елементів підводного апарата.

Таблиця 3.1 – Позначення параметрів елементів апарата

№ з/п	Елементи підводного апарата	Позначення	
		Маса	Об'єм
1	2	3	4
1	Міцний корпус	$m_{МК}$	$V_{МК}$
2	Електрообладнання міцного корпусу	$m_{ЕО_МК}$	–
3	Рушійно-кермовий комплекс	$m_{РКК}$	$V_{РКК}$
4	Крено-диферентна система	$m_{КДС}$	$V_{КДС}$
5	Гідролокатор секторного огляду	$m_{ГСО}$	$V_{ГСО}$
6	Гідролокатор кругового огляду	$m_{ГКО}$	$V_{ГКО}$
7	Гідролокатор багатопроменовий	$m_{ГБП}$	$V_{ГБП}$
8	Маніпулятор	$m_{М}$	$V_{М}$
9	Різак тросу	$m_{РТ}$	$V_{РТ}$

Кінець табл. 3.1

1	2	3	4
10	Відеокамера кольорова	$m_{ВКК}$	$V_{ВКК}$
11	Відеокамера чорно-біла	$m_{ВЧБ}$	$V_{ВЧБ}$
12	Система освітлення	$m_{СО}$	$V_{СО}$
13	Океанологічна система	$m_{ОС}$	$V_{ОС}$
14	Доплерівський сенсор швидкості	$m_{ДСШ}$	$V_{ДСШ}$
15	Кабель підводної комутації	$m_{К}$	$V_{К}$
16	Рама	$m_{Р}$	$V_{Р}$
17	Блок плавучості	$m_{БП}$	$V_{БП}$
18	Баластна ємність	$m_{БЄ}$	$V_{БЄ}$
19	Підривний патрон	$m_{ПП}$	$V_{ПП}$
20	Локалізуючі засоби	$m_{ЛЗ}$	$V_{ЛЗ}$

Маса всіх елементів СППА у загальному вигляді буде наступна:

$$m_{СППА} = \Sigma m_{ПОСТ} + \Sigma m_{НАЧ},$$

де $\Sigma m_{ПОСТ}$ – маса елементів постійного складу СППА; $\Sigma m_{НАЧ}$ – маса елементів націпного обладнання СППА.

У випадку СППА суднового базування суми мас постійного та націпного обладнання матимуть вигляд.

$$\Sigma m_{ПОСТ} = m_{Р} + m_{МК} + m_{БП} + m_{К} + m_{РКК} + m_{ЕО_МК} + \\ + m_{КДС} + m_{ВКК} + m_{ВЧБ} + m_{СО};$$

$$\Sigma m_{НАЧ} = m_{ГСО} + m_{М} + m_{РТ} + m_{ПП} + m_{ЛЗ}.$$

Рівняння існування за матеріальною складовою, у загальному випадку, надаватиме відповідь на питання – чи задовольняє отримана фактична маса апарата $m_{СППА_Ф}$ технічному завданню $m_{СППА_ТЗ}$ на його створення та матиме вигляд:

$$m_{СППА_Ф} \leq m_{СППА_ТЗ}.$$

Якщо фактична маса перевищує масу, що закладена в ТЗ, то створення СППА за критерієм матеріальної складової є неможливим, про що необхідно сповістити Замовника.

Аналогічні формулювання стосуються також об'ємної складової елементів апарата.

3.3 Рівняння існування енергетичного балансу СППС

За енергетичною складовою проєктна потужність СППА складається з суми потужності елементів, що отримують енергоживлення на протязі всього часу проведення ПТР, а саме ΣP_{CONST} , суми потужності змінних технологічних пристроїв $\Sigma P_{\text{ЗТП}}$ [77] та суми потужності електроприводів РКК $\Sigma P_{\text{РКК}}$.

$$P_{\text{СППА_ПР}} = \Sigma P_{\text{CONST}} + \Sigma P_{\text{ЗТП}} + \Sigma P_{\text{РКК}}. \quad (3.3)$$

Склад обладнання, що споживає електричну потужність, зведені до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Позначення параметрів елементів апарата

№ з/п	Елементи підводного апарата	Позначення
1	2	3
1	Електрообладнання міцного корпусу	$P_{\text{ЕО_МК}}$
2	Рушійно-кормовий комплекс	$P_{\text{РКК}}$
3	Крено-диферентна система	$P_{\text{КДС}}$
4	Гідролокатор секторного огляду	$P_{\text{ГСО}}$
5	Гідролокатор кругового огляду	$P_{\text{ГКО}}$
6	Гідролокатор багатопроменевий	$P_{\text{ГБП}}$
7	Маніпулятор	$P_{\text{М}}$
8	Різак тросу	$P_{\text{РТ}}$
9	Відеокамера кольорова	$P_{\text{ВКК}}$
10	Відеокамера чорно-біла	$P_{\text{ВЧБ}}$
11	Система освітлення	$P_{\text{СО}}$

Кінець табл. 3.2

1	2	3
12	Океанологічна система	$P_{\text{ос}}$
13	Локалізуючий засіб	$P_{\text{лз}}$
14	Доплерівський сенсор швидкості	$P_{\text{дсш}}$

Розглянемо більш детально потужність РКК, оскільки ця характеристика є варіативною величиною.

Прийmemo, що в конструкції СППА присутні три рушія – два маршові та один вертикальний.

Тоді потужність РКК запишеться як:

$$P_{\text{РКК}} = \sup \left\{ \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N P_{ij} \right\}, \quad (3.4)$$

де i – лічильник рушійних пристроїв СППА; j – лічильник режимів роботи РКК СППА; N – загальна кількість можливих режимів роботи РКК СППА.

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

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} P_{xj} \\ P_{yj} \\ P_{zj} \end{vmatrix}_i. \quad (3.5)$$

Потужність маршового руху буде функцією від сили лобового опору СППА $F_{\text{СППА}}$ та сили гідродинамічного опору КТ $F_{\text{КТх}}$ по вісі x , а потужність вертикального руху – від сили гідродинамічного опору КТ $F_{\text{КТу}}$ по вісі y .

$$\begin{aligned} P_{xj} &= f(F_{\text{СППА}}; F_{\text{КТх}}); \\ P_{yj} &= f(F_{\text{КТy}}). \end{aligned} \quad (3.6)$$

Обидва гідродинамічні опори є функцією діаметру КТ, який розраховується наступним чином [71, 78]:

$$d_{\text{КТ}} = 2 \cdot \left[k_{PW} \cdot \left(\sqrt{\frac{P_{\text{ПА_ПР}}}{\pi \cdot j_W \cdot n \cdot U_{\text{ж}}}} + \delta_W \right) + \delta_{TC} \right], \quad (3.7)$$

де $U_{\text{ж}}$ – напруга мережі живлення СППА; 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; δ_{TC} – товщина зовнішньої оболонки КТ.

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

$$T_j = \frac{\rho \cdot K_{Tj} \cdot \omega_j^2 \cdot D_j^4}{4 \cdot \pi^2}, \quad (3.8)$$

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

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

$$M_j = \frac{\rho \cdot K_{Mj} \cdot \omega_j^2 \cdot D_j^5}{4 \cdot \pi^2}, \quad (3.9)$$

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:

$$P_j = \frac{M_j \cdot \omega_j}{\eta_j}, \quad (3.10)$$

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

Вираз для складу постійної потужності СППА суднового базування можливо представити у наступному вигляді:

$$\Sigma P_{\text{CONST}} = P_{\text{ЕО_МК}} + P_{\text{КДС}} + P_{\text{ВКК}} + P_{\text{ВЧБ}} + P_{\text{СО}}.$$

До складової суми потужності змінних технологічних пристроїв буде входити:

$$\Sigma P_{\text{ЗТП}} = P_{\text{ГСО}} + P_{\text{М}} + P_{\text{РТ}} + P_{\text{ПП}} + P_{\text{ЛЗ}}.$$

При проведенні ПТР в залежності від підводної технології, що використовується СППА, останній може працювати у різних режимах, що характеризуватимуться певним значенням споживаної електричної потужності [71; 79; 80]. Для отримання рівняння існування за енергетичною складовою позначимо множину режимів R наступним виразом:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m\}, \quad (3.11)$$

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:

$$P_R = \{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\}, \quad (3.12)$$

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 СППА, що будуть розглядатися, визначиться найбільша проектна потужність $P_{\text{СППА_ПР}}$ з множини:

$$P_{\text{СППА_ПР}} = \sup\{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\}. \quad (3.13)$$

Таким чином, зрозуміло, що режими роботи СППА не передбачають використання усіх його елементів, тому рівняння існування за енергетичною складовою базується на режимі роботи апарата, коли його споживана потужність максимальна.

У випадку забезпечення постом енергетики та керування режиму найбільшої споживаної потужності апарата складаються умови для створення апарата за енергетичним рівнянням існування.

$$P_{\text{СППА_ПР}} \leq P_{\text{СППА_ТЗ}}, \quad (3.14)$$

де $P_{\text{СППА_ТЗ}}$ – потужність підводного апарата за технічним завданням.

Потужність СППС за ТЗ матиме складові, що містять потужність ПЕК $P_{\text{ПЕК}}$, потужність СПП $P_{\text{СПП}}$, потужність КЛ $P_{\text{КЛ}}$, проектну потужність СППА $P_{\text{СППА_ПР}}$ та величину втрати потужності ΔP :

$$P_{\text{СППС_ТЗ}} = P_{\text{ПЕК}} + P_{\text{СПП}} + P_{\text{КЛ}} + P_{\text{СППА_ПР}} + \Delta P. \quad (3.15)$$

У свою чергу, Замовник може надавати для СППС обмежену потужність, що виділяється на 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 у ТЗ:

$$P_{\text{СППС_ТЗ}} \leq P_{\text{СППС_ПР}}. \quad (3.16)$$

Напруга живлення СППС може бути змінною та постійною і організована за різними схемотехнічними рішеннями [81; 82].

Рекомендовані значення напруги для живлення СППА зведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Рекомендовані значення напруги для живлення СППА

–	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. 3.2.

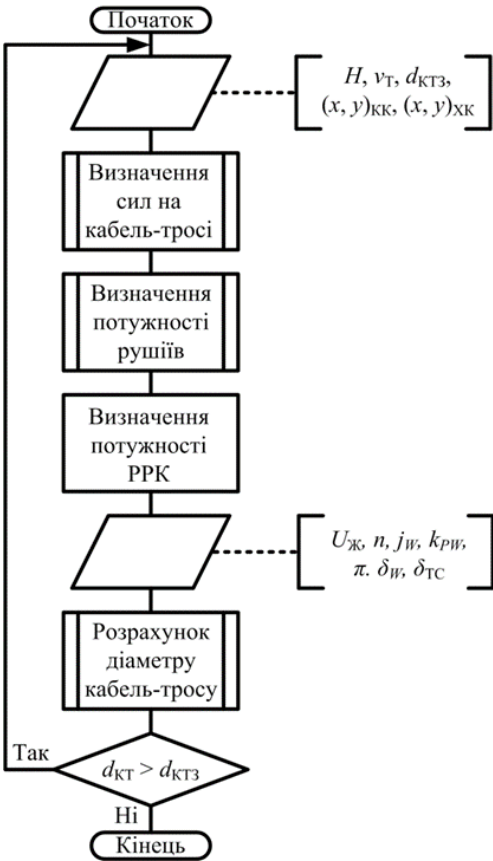


Рисунок 3.2 – Алгоритм визначення діаметру кабель-троса

Згідно алгоритму вхідними даними для розрахунку є глибина занурення СППА H , швидкість течії v_T , заданий проєктантом орієнтовний діаметр КТ d_{KT3} , координати корінного $(x, y)_{KK}$ 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 РКК [83; 84].

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 орієнтовно для заданої глибини занурення знаходиться за виразом:

$$L_{KT} = (2...2,5) \cdot H, \quad (3.17)$$

де H – задана глибина занурення.

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

3.4 Рівняння існування балансу інформаційних потоків СППС

До інформаційної складової СППС, зазвичай, входять наступні елементи:

- система керування просторовим рухом СППС;
- система інформаційного обміну між СППА та корабельним ПЕК СППС;
- навігаційні прилади СППА;
- системи керування технологічними приладами і системами СППА.

Інформаційні характеристики в значній мірі визначають можливості СППА у цілому та ефективність їх застосування для того чи іншого типу задач, що реалізуються на базі підводних технологій.

У загальному випадку під системою керування за інформаційною складовою будемо розуміти інформаційний обмін між ПЕК СППС та корабельним ненаселеним СППА. Під цим буде розумітися, що оператор СППА за допомогою органів керування надсилатиме у необхідному форматі команди апарату, а у відповідь буде отримувати від нього телеметричні дані про коректність виконання цих команд.

Для СППА з інтелектуальним керуванням характерним є наявність додаткових сенсорів для керування бортовими механізмами та сенсорами зовнішнього середовища, приладів підводного зв'язку, потужної бортової комп'ютерної системи для інтелектуального керування рухом апарата та його корисним вантажем [85].

Навігаційними приладами СППА для оператора виступають, у першу чергу, зображення з відеокамер та сонограми від навігаційних гідролокаторів. Також важливими елементами навігаційного забезпечення для безпечного переміщення апарата у водному просторі є датчики курсу, швидкості, крену і диференту та ін.

Технологічними приладами, якими оснащується СППА, можуть бути пошукові гідролокатори кругового, секторного чи бічного оглядів, ехолоти, профілографи, маніпулятори, різакі мінрепів, прилади для вимірювання гідрофізичних та гідрохімічних параметрів морської води, товщиноміри, датчики хімічного потенціалу, а також засоби нелетального та летального впливу на підводного порушника, затискачі підричних зарядів тощо. Інформація про функціонування цих приладів може бути представлена у різних форматах [86–88].

Безпосередній підхід до складання рівнянь існування СППА за інформаційною складовою полягає у перевірці відповідності

його інформаційного забезпечення ТЗ, а також у впливі на рівняння існування за іншими складовими (конструктивних, енергетичних та функціональних проєктних рішень).

При цьому, прилади і системи інформаційного забезпечення СППА за своїми характеристиками (інформаційно-комунікаційними $I_{\text{ROV-I}}$, енергетичними $I_{\text{ROV-E}}$, масогабаритними $I_{\text{ROV-M}}$ та функціональними $I_{\text{ROV-L}}$) суттєво впливають на інші рівняння існування СППА, зокрема, на рівняння мас і об'ємів та рівняння енергетичного балансу.

Досвід у проєктуванні засобів морської робототехніки в НУК свідчить, що для пошукових СППС характерним є суттєвий зв'язок між їхніми інформаційними $I_{\text{ROV}}=\{I_{\text{DS}}; I_{\text{PS}}\}$ та експлуатаційними $J_{\text{ROV}}=\{J_{\text{S}}; J_{\text{V}}; J_{\text{H}}; J_{\text{L}}\}$ характеристиками.

Тут $I_{\text{DS}} \in I_{\text{ROV}}$ – дистанція надійного виявлення ППНО як одна зі складових множини інформаційних характеристик СППА гуманітарного розмінування; $I_{\text{PS}} \in I_{\text{ROV}}$ – комплексний показник точності стабілізації СППА як носія пошукового обладнання під час усталеного руху (точність стабілізації крену, диференту і рискання СППА як вимога для забезпечення необхідної якості роботи пошукового обладнання).

У якості прикладу наведемо оцінку впливу інформаційної складової рівнянь існування пошукового СППА для проєкту корабля класу «Корвет», в якому досягнення умов технічного завдання стало можливим при заміні одного гідролокатора на інший, що мав кращі технічні характеристики.

Це дало змогу апарату, що за проєктом йде попереду корабля, рухатися на більшій висоті над ґрунтом при отриманні інформації про підводну обстановку за курсом у повному обсязі.

У свою чергу, рух СППА на зменшеній глибині дав змогу знизити гідродинамічний опір пошукової СППС та, відповідно, знизити розрахункову потужність рушійного комплексу СППА.

Розглянемо особливості застосування рівнянь існування СППА для гуманітарного розмінування акваторій за інформа-

ційною та функціональною складовими на прикладі ескізного проекту корабельного ненаселеного підводного апарата (КНПА) для проекту корабля класу «корвет» проекту 58250.

Рівняння існування КНПА будемо складати у формі системи рівнянь (нерівностей) двох типів:

- інформаційного (комунікаційного);
- функціонального (експлуатаційного, пошукового).

Інформаційне рівняння (нерівність) у лівій частині має містити пропускну здатність КТ, а в правій – сумарну інтенсивність інформаційного обміну бортових приладів КНПА:

$$I_{KT} \geq \sum_i^R I_{ROVi} + \sum_j^C I_{CEDj}, \quad (3.18)$$

де I_{KT} – пропускну здатність КТ; I_{ROVi} – інтенсивність інформаційного обміну i -го бортового приладу КНПА; I_{CEDj} – інтенсивність інформаційного обміну j -го приладу ПЕК.

У спрощеному вигляді рівняння матиме вигляд:

$$I_{KT} \geq i_{IO1} + i_{IO1} + \dots + i_{IO_n}, \quad (3.19)$$

де I_{KT} – пропускну здатність КТ; i_{IO1} – інтенсивність інформаційного обміну 1-го бортового приладу; i_{IO2} – інтенсивність інформаційного обміну 2-го бортового приладу; i_{IO_n} – інтенсивність інформаційного обміну n -го бортового приладу.

Функціональне (експлуатаційне, пошукове) рівняння існування КНПА визначає мінімально припустиму глибину його руху $H_{КНПА}$, на якій апарат здатен у повному обсязі виконувати вимоги ТЗ на пошук ППНО.

Очевидно, що намагання забезпечити рух КНПА на мінімально можливій глибині обумовлюється зменшенням енергетичних витрат на його рух та суттєво впливає на рівняння існування підводного апарата за енергетичним критерієм – рівняння енергетичного балансу.

Пошукове рівняння існування СППА за інформаційною складовою визначає мінімально припустиму глибину $H_{\text{СППА}}$ його руху, на якій апарат здатен у повному обсязі виконувати вимоги ТЗ на пошук підводної цілі. Очевидно, що намагання забезпечити рух пошукового СППА на мінімально можливій глибині обумовлюється зменшенням енергетичних витрат на його рух та суттєво впливає на рівняння існування СППА за енергетичним критерієм – рівняння енергетичного балансу [87].

Досвід проектування СППС свідчить, що мінімально припустима глибина $H_{\text{СППА}}$ руху пошукового апарата не може перевищувати максимальну (проектну) глибину використання пошукового приладу $H_{\text{ПРЛ}}$ і залежить від робочої глибини ходу підводного апарата над ґрунтом $H_{\text{РОБ}}$, робочої дальності приладу за курсом $L_{\text{РОБ}}$ та його роздільної здатності $S_{\text{ПРЛ}}$ (враховує характерний розмір цілі).

При цьому очевидно, що величина $H_{\text{РОБ}}$ є функцією від експлуатаційних характеристик пошукового приладу – його роздільної здатності $S_{\text{ПРЛ}}$ та ширини смуги донної поверхні $L_{\text{ПРЛ}}$, яку оглядає цей прилад під час руху СППА:

$$H_{\text{РОБ}} = f(S_{\text{ПРЛ}}, L_{\text{ПРЛ}}). \quad (3.20)$$

Наведені вище змінні є аргументами для функції знаходження висоти ходу підводного апарата $H_{\text{СППА}}$ над ґрунтом (функціональна складова СППА):

$$(H - H_{\text{ПРЛ}}) \leq H_{\text{СППА}} = f(H_{\text{РОБ}}, L_{\text{РОБ}}). \quad (3.21)$$

Таким чином, комунікаційна (3.18) та функціональна (пошукова) (3.21) залежності з урахуванням залежності пошукового приладу (3.20) утворюють рівняння існування пошукового СППА, відповідно, за інформаційним та функціональним критеріями в процесі пошуку та виявлення ППНО.

Інформаційна складова рівнянь існування, у загальному випадку, передбачатиме наявність інформаційного каналу з гідро-

локатором, маніпулятором, різакм тросу та локалізуючим порушника засобом.

Рівняння існування за інформаційною складовою має оцінювати достатню кількість інформаційних каналів для телеметричного обміну між ПЕК і СППА, а також отримання відеосигналу і зображення від гідролокатору:

$$\Sigma I_{\text{КАН_СППА}} \leq \Sigma I_{\text{КАН_ТЗ}},$$

де $\Sigma I_{\text{КАН_СППА}}$ – сума інформаційних каналів підводного апарата;
 $\Sigma I_{\text{КАН_ТЗ}}$ – сума інформаційних каналів, що мають бути забезпечені за технічним завданням.

Значення інтенсивностей інформаційного обміну приладів КНПА зведемо до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Позначення інтенсивності інформаційного обміну бортових приладів самохідного підводного апарата антитерористичного призначення

№ з/п	Елементи підводного апарата	Позначення
1	Система керування	$I_{\text{СК}}$
2	Відеокамера кольорова	$I_{\text{ВКК}}$
3	Океанологічна система	$I_{\text{ОС}}$
4	Доплерівський сенсор швидкості	$I_{\text{ДСШ}}$
5	Інерційна система орієнтації	$I_{\text{ІСО}}$
6	Гідролокатор кругового огляду	$I_{\text{ГКО}}$
7	Гідролокатор багатопроменевий	$I_{\text{ГБП}}$
8	Профілограф	$I_{\text{П}}$
9	Маніпулятор	$I_{\text{М}}$
10	Різац тросів	$I_{\text{РТ}}$
11	Локалізуючий засіб	$I_{\text{ЛЗ}}$

Розглянемо тепер особливості проектування СППА за інформаційним критерієм I .

На доповнення до [87], 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 $I_{\text{КПР}}$ [Кбайт/с] має забезпечувати оперативне керування просторовим рухом СППА);
- передачі телеметричної інформації про поточний технічний стан СППА (інтенсивність обміну інформацією $I_{\text{ТІ}}$ [Кбайт/с] має забезпечувати своєчасний моніторинг працездатності елементів СППА та оперативне виявлення відмов);
- дистанційного керування підводними інструментами та приладами (інтенсивність обміну інформацією $I_{\text{КПІ}}$ [Кбайт/с] має забезпечувати оперативне керування націпним 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 $I_{\text{ФВГ}}$ [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 $q_{\text{КА}}$.

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

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

$$I_{СППА} = |k_{КПР} \cdot I_{КПР} + k_{ТИ} \cdot I_{ТИ} + k_{КПІ} \cdot I_{КПІ} + k_{ФВГ} \cdot I_{ФВГ}|_{q_{КА} \leq q_{КТ}} \leq I_{СППАТЗ}, \quad (3.22)$$

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

3.5 Рівняння існування СППС за функціональною складовою

Засоби морської робототехніки, серед яких значну частку складають СППС, можуть експлуатуватись у водоймах з суденосіїв, з берегової лінії, з авіаційної техніки, з підводного човна та з інших носіїв, що можуть виконувати роль бази для підводного апарата при проведенні ПТР [74; 89]. Успішність та рівень якості результату, що має бути отриманий при використанні засобу морської робототехніки напряду залежить від ступеню підготовки, кваліфікації та досвіду персоналу, що залучений до проведення ПТР [90–93].

Безпосереднє виконання ПТР в умовах водного простору завжди пов'язано з ризиком виникнення обставин, які можуть перервати проведення ПТР або зовсім їх припинити. У зв'язку з цим на перший план виходить підготовка цих робіт на суші, тому що на вирішення проблем, які можуть виникнути у ході ПТР, може не бути достатньо часу. Таким чином, чим вищий ступінь підготовки СППС до проведення ПТР тим менший рівень проблем очікує персонал у морі.

Технічне рішення, яке реалізовано на практиці чи знаходиться у стані теоретичного обґрунтування, незалежно від ступеня автоматизації, забезпечується людським потенціалом та може отримати кваліфіковану оцінку лише з боку людини, яка на цьому розуміється.

Зазначимо, що у загальному випадку автоматизації підлягають всі складові СППС:

- пристрій доставки СППА на воду та прийому з води (на надводних суднах та кораблях – це автоматичний СПП, на підводному апараті чи гелікоптері – дистанційно керовані ангари з автоматичними ЛКТ для випускання і прийому СППА);
- кабельні лебідки для автоматичного завдання довжини попущеної частини КТ при усталеному русі підводного апарата та керованої зміни довжини КТ у перехідних режимах експлуатації СППС;
- виконавчі механізми власне СППА – електрорушійні пристрої СППА, приводи повороту несучих поверхонь;
- виконавчі механізми корисного вантажу, встановленого на СППА – фото-, відео- і гідроакустичної апаратури, відбірників проб води і ґрунту тощо.

Успіх проведення ПТР – це результат злагодженої роботи команди бази та команди СППС на всіх етапах виконання робіт. Такий підхід забезпечує витрату мінімально можливого часу на досягнення мети ПТР в заданих умовах водного простору. Розглянуті вище аспекти є основою рівнянь існування функціональної складової системного підходу на ранніх етапах створення СППС, де центральною фігурою цієї складової є людина.

Рівняння існування за функціональною складовою важче надати у вигляді якоїсь математичної залежності. У більшості випадків це має бути система вимог, що має забезпечувати зручність та безпечність роботи оператора і обслуговуючого персоналу, що може бути формалізовано та уточнено тільки на основі досвіду проведення якомога більшої кількості ПТР та можливих коригувань.

Функціональна складова СППА для гуманітарного розмінування повинна враховувати наявність на ПЕК двох робочих місць оператора – оператора СППА та оператора змінного технологічного обладнання.

Досвід у проектуванні СППС 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 ПТР з заданими Замовником експлуатаційними показниками. Пропонується увести у розгляд функціональний критерій J , який давав би змогу оцінювати експлуатаційну ефективність нової техніки. Це обумовлено великим переліком та різноманіттям експлуатаційних вимог до СППА і складністю їх формалізації.

До таких вимог, зазвичай, проектувальники СППА 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.

Пропонується доповнити перелічені вимоги ще однією експлуатаційною вимогою – продуктивністю СППА при виконанні пошукової підводної місії (критерій J_Q). Це обумовлено 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:

$$J = \{J_H; J_K; J_{P1}; J_{P2}; J_R; J_W; J_A; J_{T1}; J_{T2}; J_Q\} \leq J_{T3}, \quad (3.23)$$

де J_{T3} – функціональні (експлуатаційні) характеристики СППА, задані в ТЗ.

Завдання проектувальника СППС при цьому полягає у виборі одного чи декількох складових відношення (3.23), 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.

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

Нехай задана в ТЗ площа пошукових підводних робіт S представляє 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. 3.3. Згідно вимог 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) $\chi_{КВ}$ – відеокамери, гідролокатора тощо.

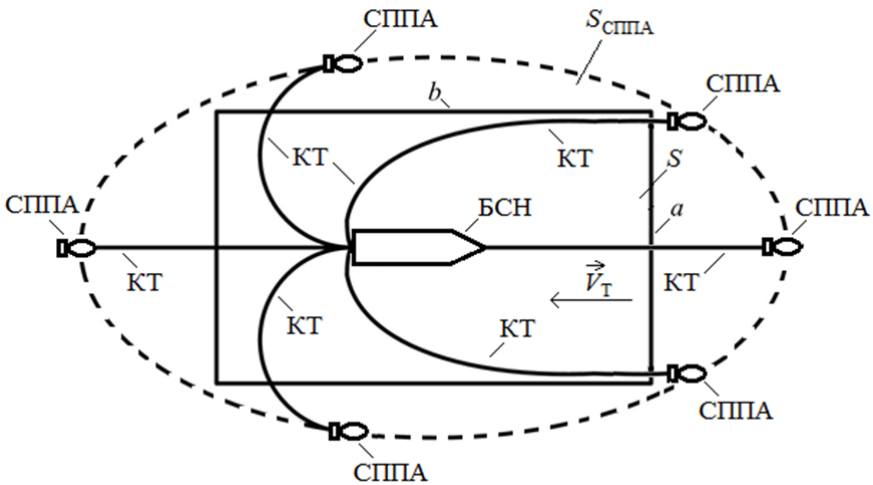


Рисунок 3.3 – Робоча зона СППА (вид зверху)

Крім того, зазвичай, швидкість руху на галсі не може перевищувати $V_{СППАКВ}$ з-за вимог до якості роботи КВ. Одночасно відомо, що швидкість руху СППА на галсі знижується з-за збільшення сили гідродинамічного опору КТ на течії і при досягненні межі робочої зони $S_{СППА}$ дорівнює нулю [1].

Розглянемо процедуру визначення можливості створення СППА за функціональним критерієм (3.23). З відношення $n = a / \chi_{\text{КВ}}$ 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 [47] визначаємо витрати часу T_M на виконання заданої підводної місії, враховуючи, що одну частину галсу підводний апарат проходить зі швидкістю $v_{\text{СППАКВ}}$, а другу частину – з меншою швидкістю, обумовленою 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.

Тоді для розглянутого прикладу рівняння існування СППА за критерієм продуктивності буде мати вигляд:

$$J_Q = \frac{S}{T_M} \leq J_{Q\text{ТЗ}}; \quad (3.24)$$

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

Якщо остання умова не виконується, це означає, що потужність РРК необхідно збільшити і з урахуванням (3.14) повторити перевірку умови (3.24).

У загальному випадку, згідно системного підходу [74] рівняння існування функціональної складової буде полягати у відповідності циклу проведення ПТР $t_{\text{ПТР}}$ часу, що надано за умовами технічного завдання $t_{\text{ПТР_ТЗ}}$:

$$t_{\text{ПТР}} \leq t_{\text{ПТР_ТЗ}}. \quad (3.25)$$

Цикл ПТР складається, як зазначено вище, з чотирьох етапів, на яких завантаження персоналу різне в залежності від

ступеню їх відповідальності, а саме: час підготовки місії $t_{\text{ПД}}$, час місії $t_{\text{М}}$, час обробки результатів місії $t_{\text{ОР}}$ та час завершення місії $t_{\text{ЗМ}}$:

$$t_{\text{ПТР}} = t_{\text{ПД}} + t_{\text{М}} + t_{\text{ОР}} + t_{\text{ЗМ}}. \quad (3.26)$$

Таким чином, досягнення умови функціональної складової, коли цикл ПТР є меншим за час, що задано замовником, дає змогу стверджувати про прийнятність створення та експлуатації СППС конкретного типу за критерієм часу. Велика увага при цьому приділяється організації кожного етапу ПТР.

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

$$EE_{M,E,I,J} = \begin{vmatrix} M_{\text{ROV}} & M_{\text{СТ}} & M_{\text{CW}} & M_{\text{CD}} & M_{\text{USV}} \\ E_{\text{ROV}} & E_{\text{СТ}} & E_{\text{CW}} & E_{\text{CD}} & E_{\text{USV}} \\ I_{\text{ROV}} & I_{\text{СТ}} & I_{\text{CW}} & I_{\text{CD}} & I_{\text{USV}} \\ J_{\text{ROV}} & J_{\text{СТ}} & J_{\text{CW}} & J_{\text{CD}} & J_{\text{USV}} \end{vmatrix}, \quad (3.27)$$

де індекси у позначенні критеріїв $\{M; E; I; J\}$ відповідають складовим СППС за їх англomовними абрeвіатурами.

Зауважимо, що рівняння (3.23) та нижній рядок матриці (3.27) є ключовими при оцінках проектних рішень на ранніх стадіях створення СППС, оскільки у більшості випадків вони визначають можливість та доцільність його побудови з заданими Замовником конструктивними параметрами та експлуатаційними характеристиками.

Таким чином, залежності (3.1), (3.14), (3.22) – (3.24) утворюють систему рівнянь існування СППА як теоретичну основу для ранніх етапів їх проектування на принципах системного підходу шляхом урахування вимог до їх матеріальних M , енергетичних E , інформаційних I та експлуатаційних (функціональних) J критеріїв.

Теоретичне підґрунтя створення СППС оборонного призначення на базі системного підходу суттєво схоже за змістом обґрунтуванню процесу створення таких систем цивільного призначення [74]. Відмінність полягає лише в тому, що в рівняннях (нерівностях) існування чи системах рівнянь (нерівностей) має та об'ємів, енергетичного та інформаційного балансів СППС, а також функціональної складової СППС, необхідно враховувати особливості матеріалів, елементів, інформаційного обміну та експлуатації СППС, які визначаються специфічними умовами оборонних задач – малий рівень шуму, відсутність електромагнітних полів, особливі вимоги до міцності конструкції тощо.

Крім того, при пошуку проектних рішень необхідно враховувати жорсткі умови застосування СППС, зокрема, дію зовнішніх силових збурень антропогенного характеру.

Розділ 4

РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МЕТОДИКИ ПРОЄКТУВАННЯ САМОХІДНОЇ ПРИВ'ЯЗНОЇ ПІДВОДНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

4.1 Узагальнена методика проєктування безекіпажної СППС на основі системного підходу

4.1.1 Створення узагальненої методики проєктування СППС на основі безекіпажного СН

Створення узагальненої методики проєктування СППС пропонується виконувати, на відміну від традиційних корабельних методик проєктування, з урахуванням загальних засад системного підходу на основі рівнянь існування. Концептуальним елементом методики, з якого буде починатися проєктування, розглядається підводна місія, навколо якої базується ПТР [94].

Наприклад, при русі транспортного судна мінонебезпечним фарватером або висвітлення підводної обстановки корабля при знаходженні на якірній стоянці їх СППС мають виконувати декілька різних місій. У зв'язку з вибором базової підводної місії мають працювати рівняння існування, отримуючи в результаті, відповідно, різні архітектури як СППА так і СППС в цілому.

Об'єднуючи отримані результати, необхідно проводити аналіз на предмет схожості та відмінності архітектури, з метою оцінки проєктування універсальної СППС для виконання декількох базових підводних місій при мінімально можливих модифікаціях її елементів.

В подальшому, обирається підводна технологія реалізація підводної місії – синхронний рух КН та СППА на заданій відстані

та глибині попереду або рух галсами з обстеженням донної поверхні.

Після обрання підводної технології необхідно звернутися до бази інструментів, завдяки яким вона буде виконуватися. Необхідні підводні інструменти мають бути закуплені, орендовані чи розроблені, у випадку їх відсутності серед стандартних рішень.

Надалі виконується синтез структури СППС з визначенням її ключових ознак архітектури – одноланкова чи дволанкова, глибина проведення ПТР, робоча зони, швидкість та епюра течії, продуктивність СППА та його корисний вантаж, швидкість руху СППА тощо.

Таким чином, закладаючи на основі досвіду чи ТЗ від Замовника, наведені параметри у рівняння існування, проводиться оцінка можливості побудови СППС за тим чи іншим рівнянням.

Якщо за якимось рівнянням неможливо створення СППС, то необхідно визначитися зі змінами, які необхідно виконати у ТЗ чи в інших параметрах, що можуть змінюватися.

Сутність системного підходу S до проектування сучасного наукоємного та ринково конкурентного продукту полягає у розгляді функціонування складових продукту з урахуванням їх взаємодії [95; 96]. Таку взаємодію між складовими СППС доцільно аналізувати у наступній послідовності операцій:

- підводне завдання U_Z , яке має виконати СППС;
- підводна технологія U_T , яку має реалізувати СППС для виконання завдання U_Z ;
- множина підводних робіт U_J , які необхідно виконати за даною технологією U_T ;
- множина задач U_F для виконавчих механізмів $Y_{СППК}$, які реалізують роботи U_J .

Таким чином, маємо наступну послідовність операцій конструктора-системотехніка щодо проектування СППС:

$$S = U_Z \rightarrow U_T \rightarrow U_J \rightarrow U_F. \quad (4.1)$$

Множина задач U_F утворює інформаційну базу для формування переліку механізмів $Y_{СППК}$ і може бути використана для формування технічного обриса майбутніх складових СППС – СППА, ЛКТ, СПП, ПЕК, а також для формування вимог до експлуатаційних властивостей КТ.

Проєктування СППС на основі залучення принципів системного підходу (аналізу функціонування складових СППС з урахуванням їх взаємодії та з урахуванням впливу зовнішнього середовища) можна представити наступними фазами:

- формулювання основних чинників його майбутнього застосування X_P (постановча фаза, кінцевим продуктом якої є розробка технічних вимог (технічного завдання) G до майбутнього продукту;
- проєктування продукту (креативна фаза, кінцевим результатом P_P якої є загальна структура та склад продукту K , його попередні матеріальні M , енергетичні E , інформаційні I та експлуатаційні J характеристики);
- технічне конструювання продукту C_P (інженерна фаза, кінцевим результатом якого є технічний проєкт – комплект креслень та іншої технічної документації, які у цілому, відповідають технічним вимогам G).

Таким чином, у загальному випадку з позицій системного підходу проєктування сучасного наукоємного та ринково конкурентного продукту можна представити множиною базових операцій:

$$S = \{X_P; P_P; C_P\}_{|G}. \quad (4.2)$$

Розглянемо зазначені фази проєктування більш детально.

4.1.2 Розробка змістовної частини методики проєктування СППС

У випадку створення СППС як цілісного ринкового продукту вказані складові системного підходу можна сформулювати наступним чином.

Формулювання основних чинників застосування СППС X_P (постановча фаза – зовнішнє проектування):

- визначення та попередній аналіз відомостей про базові підводні завдання $A = \{A_1, \dots, A_N\}$, які має виконувати СППС;
- встановлення характеристик водного середовища Z , в якому має функціонувати СППС (характеристик робочої акваторії (глибини H , вітрових $\vec{V}_V$ та хвильових $\vec{V}_W$ збурень, епюри підводної течії $\vec{V}_T$, гідрофізичних X_{HF} та гідрохімічних X_{HC} характеристик водного середовища тощо).

Таким чином, постановча фаза створення СППС може бути описана наступними множинами проектних робіт:

$$X_P = \{A; Z\}; \quad (4.3)$$

$$A = \{A_1, \dots, A_N\}; \quad (4.4)$$

$$Z = \{H; \vec{V}_V; \vec{V}_W; \vec{V}_T; X_{HF}; X_{HC}\}, \quad (4.5)$$

де N – кількість базових підводних завдань для СППС, яка створюється.

Проектування СППС P_P (креативна фаза – внутрішнє проектування):

- визначення та аналіз проектних обмежень на створювану СППС $O_{СППС}$ – масо-габаритних O_M , енергетичних O_E , інформаційних O_I , експлуатаційних O_J , вартісних O_{Ek} ;
- визначення попередніх відомостей щодо структури і складу обладнання $K_{СППС}$ складових СППС (підводного апарата K_{ROV} , кабель-троса K_{CT} , кабельної лебідки K_{WCT} , спускопіднімального пристрою K_{CED} та поста енергетики і керування K_{CD}), які необхідні для підводних завдань A ;
- обґрунтування архітектурного типу СППА Q_{ROV} як центральної задачі креативної фази – гідродинамічного типу корпусу СППА, розташування РП та зовнішнього змінного інструменту тощо;

- розробка віртуальних 3D-моделей VM складових СППС (VM_{ROV} , VM_{CT} , VM_{WCT} , VM_{CED} та VM_{CD});
- розробка математичних моделей MM як інструментальної основи аналізу СППС – моделей функціонування СППС у квазістаціонарних і динамічних режимах MM_F , необхідних для перевірки відповідності створюваного комплексу технічним вимогам G , та економіко-математичних моделей MM_E (моделей вартості створення СППС за визначеними структурою і складом K), необхідних для перевірки відповідності вимогам обмежень O_{Ek} на вартість складових [97; 98];
- попередній аналіз можливості створення СППС за заданими технічними вимогами G на основі розв'язку рівнянь існування СППС $R_{СППС}$; вказаний аналіз виконується шляхом складання та розв'язку рівнянь матеріальних характеристик складових СППС R_M (рівнянь балансу мас і об'ємів СППА тощо), рівнянь енергетичного балансу складових СППС R_E , рівнянь їх інформаційного забезпечення R_I та рівнянь забезпечення експлуатаційних характеристик СППС R_J ; чисельні значення цих рівнянь формуються з залученням відомостей про характеристики складових СППС, що містяться в базі даних DB раніше створених СППА, КТ, ЛКТ, СПП і ПЕК, а також ринково доступних вузлів і систем вказаного обладнання;
- у разі позитивного результату виконання попереднього аналізу виконується формування бази відомостей комплектуючих частин DB_K та конструкційних матеріалів DB_M для складових СППС, спираючись на інформацію від DB ;

у разі негативного результату виконання попереднього аналізу виконується пошук рішень щодо коригування структури та/чи заміни обладнання K складових СППС чи формується замовлення на проектування і створення нового обладнання.

Таким чином, реалізація системного підходу у проектуванні СППС передбачає виконання наступної множини проектних робіт (креативна фаза):

$$P_p = \{O_{\text{СППС}}; K; Q_{\text{РОВ}}; VM; MM; R_{\text{СППС}}; (M; E; I; J)_{DB}\}; \quad (4.6)$$

$$O_{\text{СППС}} = \{O_M; O_E; O_I; O_J; O_{EK}\}; \quad (4.7)$$

$$K_{\text{СППС}} = \{K_{\text{РОВ}}; K_{\text{CT}}; K_{\text{WCT}}; K_{\text{CED}}; K_{\text{CD}}\}; \quad (4.8)$$

$$VM = \{VM_{\text{РОВ}}; VM_{\text{CT}}; VM_{\text{WCT}}; VM_{\text{CED}}; VM_{\text{CD}}\}; \quad (4.9)$$

$$MM = \{MM_F|_G; MM_E|_{O_E}\}; \quad (4.10)$$

$$R_{\text{СППС}} = \{R_M; R_E; R_I; R_J\}|_G; \quad (4.11)$$

$$M = \{M_{\text{РОВ}}; M_{\text{CT}}; M_{\text{WCT}}; M_{\text{CED}}; M_{\text{CD}}\}_{DB}; \quad (4.12)$$

$$E = \{E_{\text{РОВ}}; E_{\text{CT}}; E_{\text{WCT}}; E_{\text{CED}}; E_{\text{CD}}\}_{DB}; \quad (4.13)$$

$$I = \{I_{\text{РОВ}}; I_{\text{CT}}; I_{\text{WCT}}; I_{\text{CED}}; I_{\text{CD}}\}_{DB}; \quad (4.14)$$

$$J = \{J_{\text{РОВ}}; J_{\text{CT}}; J_{\text{WCT}}; J_{\text{CED}}; J_{\text{CD}}\}_{DB}. \quad (4.15)$$

Очевидно, що перспективним науковим завданням креативної фази є автоматизація процесів проектування СППС на основі створення точних інформаційних моделей їх функціонування в заданих режимах A та моделей для підтримки прийняття проектних (конструкторських) рішень на основі системного підходу.

Технічне конструювання СППС C_p (інженерна фаза – внутрішнє проектування):

- виконання проектних розрахунків $V_{\text{СППС}}$, які підтверджують працездатність і надійність складових СППС, підтверджують дотримання технічних вимог G до нього та виконання проектних обмежень $O_{\text{СППС}}$ на його створення;
- розробка проектної документації (креслень) $D_{\text{СППС}}$, необхідних для виготовлення нових вузлів і систем для складових СППС;
- розробка документації D_M та D_K на закупівлю, відповідно, матеріалів та вузлів і систем СППС, які включені до проекту з баз даних DB_M і DB_K ;

- розробка документації щодо попереднього техніко-економічного обґрунтування створення СППС $D_{\text{ТЕО}}$.

Отже, реалізація системного підходу у технічному конструюванні СППС передбачає виконання наступної множини розрахункових та конструкторських робіт (інженерна фаза):

$$C_P = \{B_{\text{СППС}}; D_{\text{СППС}}; DB_M; DB_K; D_{\text{ТЕО}}\}; \quad (4.16)$$

$$B_{\text{СППС}} = \{B_{\text{РОВ}}; B_{\text{СТ}}; B_{\text{ТW}}; B_{\text{CED}}; B_{\text{CD}}\} \Big|_{G, O_{\text{СППК}}}; \quad (4.17)$$

$$D_{\text{СППС}} = \{D_{\text{РОВ}}; D_{\text{СТ}}; D_{\text{WCT}}; D_{\text{CED}}; D_{\text{CD}}\} \Big|_{BD}; \quad (4.18)$$

$$D_M = \{D_{\text{MРОВ}}; D_{\text{MCT}}; D_{\text{MWCT}}; D_{\text{MCED}}; D_{\text{MCD}}\} \Big|_{BD}; \quad (4.19)$$

$$D_K = \{D_{\text{KРОВ}}; D_{\text{KCT}}; D_{\text{KWCT}}; D_{\text{KCED}}; D_{\text{KCD}}\} \Big|_{BD}. \quad (4.20)$$

Відношення (4.3) – (4.20) складають основу методики проєктування СППС на основі методології системного підходу. Сформований перелік проєктних робіт постановочної фази та фаз проєктування і конструювання СППС легко формалізується методами математичного і комп'ютерного моделювання, що дає можливість залучати до проєктування сучасні пакети програм CAD/CAM/CAE, а для дослідження їх функціонування – CFD-пакети [99].

4.1.3 Особливості застосування системного підходу до проєктування СППС

Великий клас засобів підводної робототехніки утворюють СППС. До суттєвих переваг їх застосування відноситься можливість дистанційного виконання підводних робіт у реальному часі та без ризику для життя людини-оператора. Сучасні методи проєктування таких систем слабо систематизовані і стосуються проєктування окремих їх складових – СППА, їхніх КТ та систем керування. Це збільшує терміни проєктних робіт і знижує їх якість [14; 100–105].

Безлюдні технології виконання підводних робіт вимагають системного підходу до процесу проєктування СППС, який передбачає врахування особливостей взаємодії складових системи

при виконанні основних його режимів експлуатації. Це дає змогу створювати системи, окремі складові яких запроєктовані з єдиних позицій системотехніки і максимально повно відповідають підводним місіям СППС.

Системний підхід до проектування СППС у роботі пропонується реалізувати у вигляді декомпозиції морської операції як ланцюга «підводне завдання (місія) – підводна технологія його виконання – підводна робота за обраною технологією – задача для виконавчого механізму системи». Це утворює інформаційну базу для формування переліку виконавчих механізмів системи та формує технічний обрис її складових на ранніх стадіях проектування [106].

Запропоновані постановочна, креативна та інженерна фази проектування СППС дають змогу чітко сформулювати множини робіт, які охоплюють проектування всіх складових системи.

Важливою складовою креативної фази проектування є використання розробленої авторами системи рівнянь існування СППС, які дають змогу системно оцінювати проєктні рішення за матеріальними, енергетичними, інформаційними та експлуатаційними характеристиками. Це дає змогу вже на ранніх стадіях проектування встановити можливість створення СППС з заданими характеристиками.

Отримані для кожної фази множини проєктних робіт передбачають, зокрема, розробку математичних та віртуальних 3D-моделей складових СППС. Це дає змогу у подальшому переводити проектування таких систем на повністю комп'ютерні технології із застосуванням сучасних прикладних пакетів програм.

4.2 Проекtnі задачі енергоживлення одноланкових СППС

4.2.1 Енергетична складова системного підходу як базова оцінка створення СППС

З огляду на те, що загальною проблемою є проектування СППС, яке передбачає досягнення виправданих технічних рішень з точки зору економічної та експлуатаційної складових стосовно її створення та використання, можливо виділити наступні частини загальної проблеми, які потребують вирішення:

- відокремлення окремих функціональних груп СППС з метою визначення їх максимальних електричних потужностей з певною точністю в залежності від режиму роботи СППА та системи загалом;
- пошук оптимального рішення відносно проектування КТ, як основного чинника виникнення взаємно суперечливих аспектів, що пов'язані з передачею через нього електричної потужності до СППА;
- складання алгоритму для використання на ранніх стадіях проектування СППС на основі системного підходу з можливістю попередньої оцінки її створення, в якому робиться акцент, що без забезпечення енергетичної складової підходу розгляд матеріальної, інформаційної та функціональної складових не є доцільним без коригування технічного завдання.

Удосконалення методики проектування систем енергоживлення одноланкової самохідної прив'язної підводної системи на основі системного підходу шляхом врахування силової взаємодії твердих і гнучких тіл СППС у потоці води є однією зі складових мети дослідження.

Для досягнення саме цієї складової мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- отримати основні енергетичні залежності для складових СППС як основу для рівняння енергетичного балансу СППС, яка створюється;

- встановити множину основних експлуатаційних режимів СППС, які мають високе енергоспоживання, та визначити порядок їх урахування у проєктних розрахунках енергоживлення СППС;
- отримати залежності для конструктивних параметрів КТ СППА, що впливають на енергетичні характеристики СППС;
- адаптувати отримані енергетичні залежності як складові узагальненої методики проєктування безпечних самохідних прив'язних підводних комплексів на основі системного підходу.

Важливим є вплив експлуатаційного параметру, а саме електричної потужності складових СППС на її конструктивні характеристики. При цьому кількісні значення експлуатаційних параметрів та конструктивних характеристик надані замовником у ТЗ.

Напрямок дослідження виступає СППС та системний підхід до її проєктування на ранніх стадіях її створення.

Підхід полягає у порівнянні кількісних значень параметрів, які можуть бути пораховані на базі реальних об'єктів функціонування СППС, з кількісними значеннями цих параметрів, що задані у ТЗ.

У випадку неможливості отримання значення у межах, що диктуються умовами технічного завдання, відбувається пошук технічних рішень, які задовольняють ці умови або за можливості коригується ТЗ за згодою Замовника. Ітерації відбуваються до тих пір, поки не відбувається перехід до наступного етапу проєктування, що підтверджується відповідними технічними рішеннями з приведенням основних розрахунків та моделюванням, а також економічною доцільністю.

4.2.2 Основні енергетичні залежності між складовими СППС

У класичному представленні складовими одноланкової СППС є СППА, ПЕК, КТ, ЛКТ та СПП. Якщо СППС базується на безпечному судні як носії підводної системи, то до об'єктів автоматизації відносять також СН. У загальному випадку міс-

цем базування для такого різновиду підводних систем також може бути підводний човен, гвинтокрил, пересувна платформа, берегова база тощо. Склад СППС, що базується на СН, представлено на рис. 4.1.

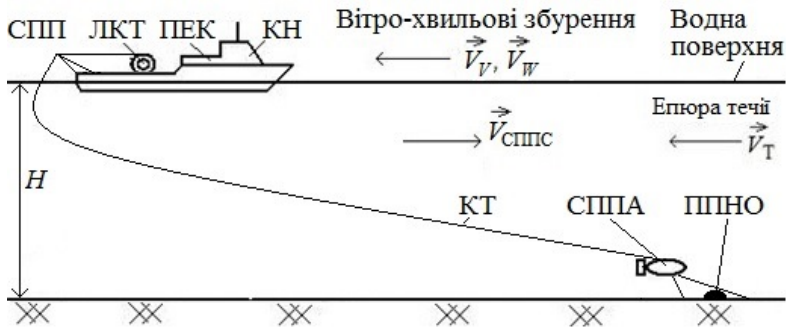


Рисунок 4.1 – Склад одноланкової СППС з базуванням на СН при виконанні пошуково-обстежувальної операції

Спираючись на досвід авторів у проектуванні, створенні та морській експлуатації СППС, можна стверджувати, що від правильності проектних рішень щодо енергетичного забезпечення такої системи суттєво залежить ефективність її використання, зокрема, продуктивність і якість виконання підводно-технічних робіт.

Так, дефіцит потужності впливає на швидкість підводного руху СППА в граничних режимах та на якість роботи його підводної відео- та гідроакустичної апаратури.

За енергетичним критерієм E рівняння існування СППА доцільно складати у вигляді рівняння балансу його споживаної потужності $P_{СППА}$, яка складається з суми потужностей $P_{СППАР}$ його елементів, що отримують енергоживлення протягом всього часу проведення підводної місії, суми потужностей $P_{СППАУ}$ змінюваного націпного обладнання СППА та суми потужностей $P_{СППАТ}$ електроприводів РКК [107].

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

$$P_{\text{СППА}} = P_{\text{СППАР}} + k_V \cdot P_{\text{СППАВ}} + k_P \cdot P_{\text{СППАТ}} \leq P_{\text{СППАТЗ}}, \quad (4.21)$$

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

Оскільки енергоживлення СППС забезпечується від бортового джерела енергії КН (зазвичай його електростанції), має місце залежність:

$$P_{\text{СППС}} \leq P_{\text{ТЗ}} = k_{\text{СППС}} \cdot P_{\text{СН}}, \quad (4.22)$$

де $P_{\text{СППС}}$ – потужність, що споживається СППС у складі ПЕК, ЛКТ, СПП та СППА; $P_{\text{ТЗ}}$ – потужність СППС, задана у ТЗ на створення системи; $k_{\text{СППС}}$ – коефіцієнт відбору потужності на потреби СППС від корабельної електростанції потужністю $P_{\text{СН}}$.

Залежність (4.22) є рівнянням енергетичного балансу СППС, що створюється, і має використовуватись у проектній методиці як базова, що гарантує можливість побудови такої системи за вимогами ТЗ.

У свою чергу, величина $P_{\text{СППС}}$ формується як сума потужностей, що споживаються складовими СППС – ПЕК, ЛКТ, КТ, СПП та СППА (індекси при змінних співпадають з аббревіатурами складових):

$$P_{\text{СППС}} = P_{\text{ПЕК}} + P_{\text{ЛКТ}} + P_{\text{КТ}} + P_{\text{СПП}} + P_{\text{СППА}}. \quad (4.23)$$

Розглянемо послідовно особливості енергозабезпечення цих складових.

До основних завдань ПЕК відносяться енергопостачання та керування (ручне, автоматизоване чи автоматичне) виконавчими складовими СППС (ЛКТ, СПП та СППА) у нормальних та ава-

рійних режимах. У зв'язку з цим основними складовими енергоживлення ПЕК є наступні потужності:

$$P_{\text{ПЕК}} = P_{\text{ПЕКО}} + P_{\text{ПЕКЕ}}, \quad (4.24)$$

де $P_{\text{ПЕКО}}$ – потужність, необхідна для забезпечення роботи внутрішнього обладнання ПЕК (пультів керування СППС та систем зв'язку, освітлення та кондиціонування приміщення, освітлення робочої палуби СН тощо); $P_{\text{ПЕКЕ}}$ – потужність обладнання ПЕК, яке забезпечує енергоживлення ЛКТ, СПП та СППА (обладнання розподілу електроенергії між споживачами, електричні апарати захисту і сигналізації).

Призначення КТ полягає у передачі електроенергії до СППА, а також у забезпеченні обміну інформацією між СППА та ПЕК.

Крім того, КТ виконує функції вантажного елемента, який забезпечує силову взаємодію між СППА та КЛ, які працюють в умовах потоку води, що набігає на СППА та КТ (підводна течія, синхронний рух СППА та його СН тощо).

Таким чином, вплив КТ на енергетику СППС необхідно розглядати у вигляді двох основних складових:

- втрати потужності $\Delta P_{\text{КТ}}$ внаслідок протікання електричного струму $I_{\text{СППА}}$ по силових жилах КТ при електроживленні СППА;
- необхідності передавати через КТ енергію для електричних двигунів РКК СППА, які своїми упорами T мають подолати не тільки гідродинамічний опір власне СППА $F_{\text{СППА}}$, і й гідродинамічний опір КТ $F_{\text{КТ}}$.

Перша складова визначається залежностями, відповідно, для постійного та трифазного змінного струму:

$$\Delta P_{\text{КТ}} = I_{\text{СППА}}^2 \cdot R; \quad (4.25)$$

$$\Delta P_{\text{КТ}} = 3 \cdot I_{\text{СППАФ}}^2 \cdot R, \quad (4.26)$$

де R – електричний опір силової жили КТ; індекс «ф» означає фазні значення напруги живлення та струму.

Друга складова впливу КТ на енергетику СППС має гідродинамічну природу і суттєво залежить від просторової форми КТ та його гідродинамічних характеристик, а також від швидкості потоку води, що набігає. У зв'язку з цим її обрахування, зазвичай, виконують із залученням методів математичного та комп'ютерного моделювання [108]. Результатом такого обрахування є вектори сил $\vec{F}_{КТ1}$ та $\vec{F}_{КТ2}$, які утворюються, відповідно, на корінному та ходовому кінцях КТ. Вектор $\vec{F}_{КТ2}$ долається упорами РКК.

Споживана потужність ЛКТ складається з потужності $P_{ДЛКТ}$ електропривода її кабельного барабана та потужності $P_{ДКУ}$ електропривода укладача КТ на барабан, а також потужності $P_{ПКЛ}$ приладів контролю і сигналізації лебідки (електрогальмівного механізму, давачів швидкості обертання кабельного барабану та натягу КТ тощо):

$$P_{ЛКТ} = P_{ДЛКТ} + P_{ДКУ} + P_{ПКЛ}. \quad (4.27)$$

Споживана потужність СПП складається з потужності електропривода $P_{КСПП}$ повороту кран-балки (чи нахилу вантажної рами, якщо СПП має рамну конструкцію), потужності електропривода $P_{ГСПП}$ опускання/піднімання вантажного гака, потужності електропривода затискача вантажу $P_{ЗСПП}$ та потужності $P_{ПСПП}$ приладів контролю і сигналізації СПП (електрогальмівного механізму, давачів кута повороту кран-балки чи вантажної рами, натягу КТ тощо):

$$P_{СПП} = P_{КСПП} + P_{ГСПП} + P_{ЗСПП} + P_{ПСПП}. \quad (4.28)$$

Найбільшу складність при проєктних розрахунках СППС має оцінка потужності СППА $P_{СППА}$, оскільки саме він є головним виконавчим механізмом підводної системи і режими його функціонування визначають, в основному, споживану потужність всієї системи.

Досвід авторів у проектуванні СППС свідчить про доцільність оцінки величини $P_{\text{СППА}}$ як суми потужностей трьох основних груп споживачів електроенергії:

- потужності бортового електрообладнання СППА $P_{\text{Б}}$, величина якої залишається практично незмінною протягом всього часу проведення підводної місії; до такого обладнання відносять фото- і відеокомплекси з системами підводного освітлення, штатні гідроакустичні прилади, пристрої системи ручного та автоматичного керування, системи телеметрії та зв'язку СППА з ПЕК тощо;
- потужності РКК $P_{\text{РКК}}$;
- потужності начіпного обладнання СППА $P_{\text{Н}}$, призначеного для виконання інструментальних підводних робіт; до такого обладнання відносяться підводні маніпулятори, ґрунторозмивачі, різакі тросів, потужні пошукові гідроакустичні прилади тощо.

Таким чином, споживану потужність СППА характеризує відношення:

$$P_{\text{СППА}} = P_{\text{Б}} + P_{\text{РКК}} + P_{\text{Н}}. \quad (4.29)$$

Потужність $P_{\text{Б}}$, зазвичай, визначається як проста сума потужностей елементів бортового електрообладнання [109] і особливих складнощів при проектуванні СППА не викликає.

Величина потужності $P_{\text{Н}}$, споживаної начіпним обладнанням СППА, залежить від конкретного режиму підводної роботи, однак у проєктній практиці її враховують у вигляді номінального (паспортного) значення.

Потужність, споживана РКК, є визначальною при проєктних оцінках потужності більшості типів СППА, тому розглянемо процес її розрахунку більш детально.

Конфігурація РКК та кількість РП, що входять до його складу, мають забезпечувати маршовий, вертикальний та лаговий рухи СППА.

Будемо розглядати РКК у складі двох маршових (лівого МЛ і правого МП), одного вертикального В та одного лагового Л рушійних пристроїв.

Відповідно, вказані рушії споживають електроенергію та розвивають потужність $P_x = (P_{xML} + P_{xMP})$ для поздовжнього руху СППА (вісь x у системі координат, зв'язаній з корпусом апарата), а також потужності P_y та P_z для вертикального і лагового рухів апарата (відповідно, осі y та z у системі координат, зв'язаній з корпусом апарата) [110].

В залежності від режиму роботи СППА, електрична потужність, яка споживається РКК, є змінною величиною.

4.2.3 Основні експлуатаційні режими СППС

З метою забезпечення найбільш енерговитратного режиму РКК (робота з максимальною потужністю P_{PKKmax}) проаналізуємо N експлуатаційних режимів СППА і визначимо ті з них, для яких необхідно розвивати максимальну потужність РП за одною з осей.

У цьому випадку режим обирається за максимальним упором, що визначається з множини упорів для кожного з РП при розгляді всіх режимів роботи РКК:

$$\begin{cases} P_{xmax} = \sup\{P_{x1}; \dots; P_{xi}; \dots; P_{xN}\}; \\ P_{ymax} = \sup\{P_{y1}; \dots; P_{yi}; \dots; P_{yN}\}; \\ P_{zmax} = \sup\{P_{z1}; \dots; P_{zi}; \dots; P_{zN}\}. \end{cases} \quad (4.30)$$

Знайдені потужності РП по осях x, y, z визначають встановлену потужність гребних електродвигунів, яку треба закладати у проєкт СППА.

Далі, для визначення максимального значення потужності P_{PKKmax} , споживаної РКК у найбільш важкому режимі роботи, необхідно обрахувати потужності $P_{PKKi} = (P_{xi} + P_{yi} + P_{zi})$ для кожного з N режимів та обрати максимальну з них:

$$P_{РКК\max} = \sup\{P_{РКК1}; \dots; P_{РККi}; \dots; P_{РККN}\}. \quad (4.31)$$

Враховуючи вище наведене, переходимо до аналізу режимів роботи СППС в цілому. Для кожного режиму роботи системи потужність, що споживається кожною її складовою, є різною. Наведемо перелік типових режимів роботи СППС:

- а) перевірка працездатності обладнання системи на палубі RJ_D ;
- б) опускання СППА з палуби СН на воду та, відповідно, підйом СППА на борт СН RJ_W ;
- в) рух СППА по поверхні води та занурення у визначеній точці (альтернативний режим – занурення СППА та його підводний рух до визначеної точки підводного простору – в залежності від навігаційної обстановки) RJ_S ;
- г) плоский та/чи просторовий рух СППА складними траєкторіями RJ_{M1} ;
- г) прямолінійний чи криволінійний рух СППА при проведенні ПТР на протяжному об'єкті RJ_{M2} ;
- д) маневрування та просторове позиціонування СППА при виконанні ПТР на точковому об'єкті RJ_{M3} .

Після аналізу режимів роботи визначається множина значень потужності для кожної складової самохідної прив'язної підводної системи, з якої по аналогії з (4.31) обирається максимальне значення – $\sup(P_{ПЕКi\dots N})$, $\sup(P_{КТi\dots N})$, $\sup(P_{ЛКТi\dots N})$, $\sup(P_{СППi\dots N})$.

Виходячи з цих максимальних значень проєктується кожна складова СППС.

Для отримання кількісних показників для системи залежностей (4.30) і табл. 4.1 проєктувальник має виконати масові розрахунки системи «СППА – КТ» для всієї множини режимів підводного руху системи.

Такі розрахунки, зазвичай, виконуються із застосуванням спеціальних моделюючих комплексів або прикладних пакетів програм [111].

4.2.4 Визначення конструктивних параметрів КТ, що впливають на енергетичні характеристики СППС

Розглянемо тепер характер взаємодії СППА, як твердого тіла, та КТ, як гнучкого тіла, що мають силову взаємодію між собою у потоці води, та визначимо аналітичні залежності такої взаємодії.

Відомо [1], що гідродинамічні характеристики КТ суттєво впливають на вектор сил, які прикладені до корпусу СППА.

У більшості проектних задач СППС, призначених для роботи навіть на малих (до 100 метрів) глибинах в умовах підводної течії, складова гідродинамічного опору КТ $F_{КТ}$ є визначальною при розрахунках упорів рушіїв СППА і сягає 90% від їх абсолютного значення.

Тому розрахунки вектора сили $\vec{F}_{КТ}$ мають бути віднесені до головних складових процесу проектних оцінок системи енергоживлення СППА як складової СППА.

Відомо, що гідродинамічний опір $f_{КТ}$ одиниці довжини КТ прямо пропорційно залежить від його діаметру $d_{КТ}$ та коефіцієнта гідродинамічного опору C , та квадратично залежить від швидкості потоку води v , що набігає на КТ [112]:

$$\begin{cases} f_{КТn} = 0,5 \cdot C_n \cdot \rho \cdot v_n^2 \cdot d_{КТ}; \\ f_{КТt} = 0,5 \cdot C_t \cdot \rho \cdot v_t^2 \cdot d_{КТ}; \\ f_{КТb} = 0,5 \cdot C_b \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot d_{КТ}, \end{cases} \quad (4.32)$$

де n, t, b – індекси, відповідно, нормальної, дотичної та бокової складових гідродинамічного опору КТ; ρ – питома густина води.

Разом з тим, передача електроенергії за допомогою КТ призводить до падіння напруги $\Delta U_{КТ}$, яка живить електрообладнання підводного апарата.

Обмеження на величину $\Delta U_{КТ}$, викликані вимогами до якості електроживлення цього обладнання, призводять до збіль-

шення діаметру силових жил КТ і, як наслідок, до збільшення значення d_{KT} і зростання гідродинамічного опору КТ.

Єдиним шляхом зменшення проєктних значень d_{KT} є підвищення напруги живлення СППА, проте таке підвищення призводить до зростання товщини електричної ізоляції КТ і, у зв'язку з цим, до зростання величин d_{KT} і F_{KT} [113].

Тому при проєктуванні систем енергозабезпечення СППА необхідно шукати оптимальне співвідношення між гідродинамічними та електричними характеристиками КТ.

Наведемо основні аналітичні залежності, які пов'язують ці характеристики.

Величину d_{KT} можна обчислити за формулою:

$$d_{KT} = k_{CL} \cdot d_{EW} + 2 \cdot \delta_{EI} + 2 \cdot \delta_{PS}; \quad (4.33)$$

$$d_{EW} = d_E + 2 \cdot \delta_I, \quad (4.34)$$

де k_{CL} – коефіцієнт укладання елементів конструкції сердечника КТ (силових та інформаційних електричних провідників, вантажних елементів та елементів плавучості КТ), який пов'язує уніфіковані діаметри d_{EW} цих елементів з діаметром сердечника КТ; δ_{EI} – товщина зовнішньої ізоляції сердечника КТ; δ_{PS} – товщина зовнішньої захисної оболонки КТ; d_E та δ_I – відповідно, діаметр силового провідника електричного струму КТ та товщина його електричної ізоляції.

Величина електричної напруги живлення СППА $U_{СППА}$ суттєво впливає на діаметр КТ, оскільки при заданій електричній потужності $P_{СППА}$ підводного апарата діаметр d_{EW} залежить від площі поперечного перерізу силового провідника електричного струму S_E та товщини його електричної ізоляції δ_I :

$$d_{EW} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S_E}{\pi}} + 2 \cdot \delta_I, \quad (4.35)$$

а величина S_E пов'язана з електричною напругою $U_{СППА}$ залежністю:

$$s_E = \frac{P_{\text{СППА}}}{j_E \cdot U_{\text{СППА}}}, \quad (4.36)$$

де j_E – щільність електричного струму силового провідника КТ, обрана з урахуванням обмеження на величину $\Delta U_{\text{КТ}}$.

Залежності (4.32) – (4.36) можуть бути покладені в основу розрахунку конструкції КТ, діаметр якого забезпечить мінімальний гідродинамічний опір у потоці води, що набігає.

4.2.5 Адаптація отриманих енергетичних залежностей як складової узагальненої методики проектування безекіпажних СППС на основі системного підходу

Узагальнена методика проектування безекіпажних СППС на основі системного підходу детально розглянута у [95]. В її основу покладено використання системи рівнянь існування СППС, які дають змогу системно оцінювати проєктні рішення за матеріальними M , енергетичними E , інформаційними I та експлуатаційними F критеріями.

Це дає змогу вже на ранніх стадіях проектування встановити можливість створення підводної робототехніки із заданими Замовником характеристиками.

На її основі розглянемо алгоритм визначення можливості створення СППС на ранніх стадіях проектування за критерієм енергоживлення (рис. 4.2.).

Базою, що визначає можливість створення СППС на ранніх стадіях проектування, є ТЗ, яке надається Замовником (блок 1 на рис. 4.2). Тут задаються кількісні характеристики майбутньої СППС, зокрема: напруга $U_{\text{СППА}}$ та частота $f_{\text{СППА}}$ системи електроживлення СППА, швидкість $v_{\text{СППС}}$ синхронного руху СН та СППА, глибина $H_{\text{СППА}}$ руху СППА, довжина $L_{\text{КТ}}$ попущеної частини КТ, а також просторові координати корінного кінця КТ $\{x_K; y_K; z_K\}$, який закріплений на СН, та ходового кінця КТ $\{x_X; y_X; z_X\}$, який закріплений на СППА.

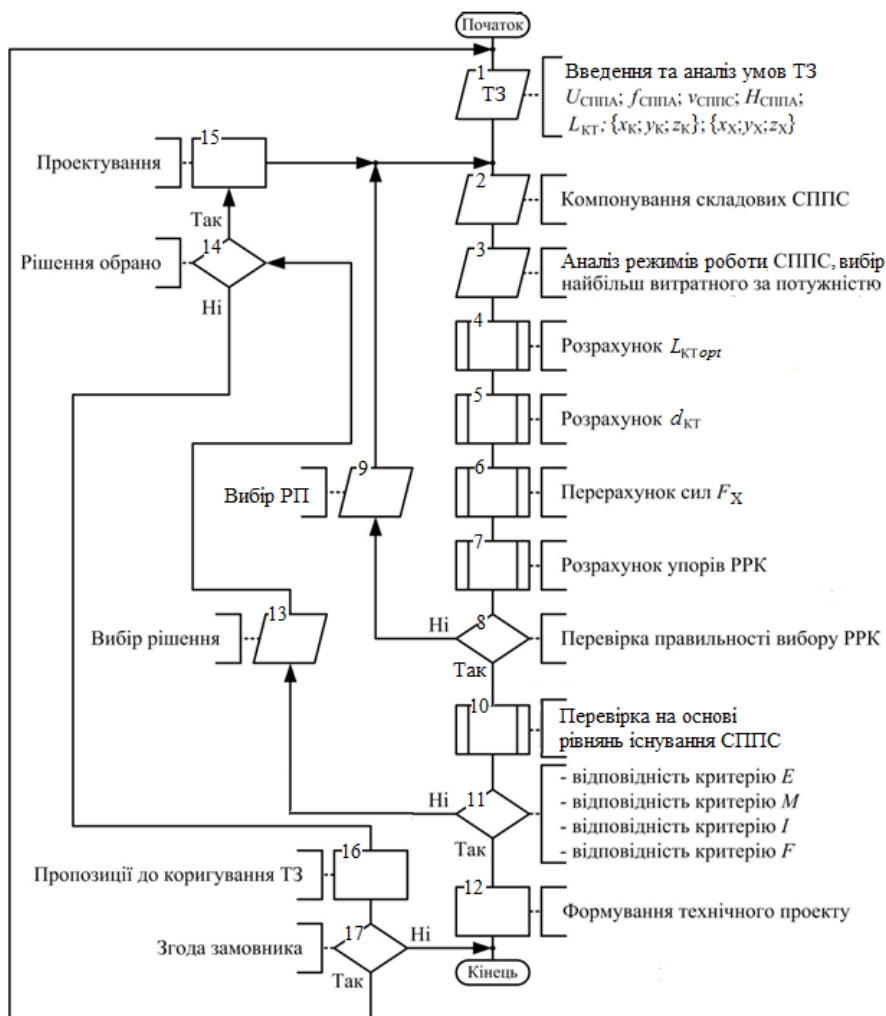


Рисунок 4.2 – Алгоритм визначення можливості створення СППС

Вказані вимоги ТЗ являють собою умови обмеження, які забезпечать задовільне функціонування СППС для виконання необхідних Замовнику задач.

Після опрацювання даних ТЗ виконується конструювання складових СППС з існуючих елементів, вузлів чи систем, які доступні на світовому ринку, а також елементів, вузлів чи систем, які були раніше створені та випробувані організацією, яка є головною у створенні СППС, чи організаціями-партнерами, які можуть ці елементи надати за певних умов (блок 2).

Наступним кроком є аналіз режимів роботи СППС (блок 3). Тут виконується вибір найбільш енерговитратного, що визначається положенням СППА відносно СН, в якому його РКК споживає найбільшу потужність (залежності (9) і (10)).

Такий режим зазвичай виникає, коли апарат знаходиться попереду судна і рухається проти течії, намагаючись досягти найбільш віддаленої точки робочої зони.

Далі згідно залежностям (4.32) – (4.36) виконується розрахунок оптимальної довжини КТ $L_{KT_{opt}}$ і розрахунок його діаметру (блоки 4 та 5). Потім перераховуються сили F_x на ходовому кінці КТ для визначення упорів РП апарата (блоки 6 і 7).

Наступним етапом проектування є перевірка правильності вибору РКК (блок 8). Якщо ця перевірка не задовольняє умовам ТЗ, то обирається більш потужний РП чи змінюється конфігурація РКК СППА (блок 9).

Коли перевірка дає позитивний результат, виконується перехід до рівнянь існування СППС [71], за допомогою яких вже на ранніх стадіях проектування є можливість визначити можливість створення СППС (блок 10).

Тут встановлюється відповідність проекту СППС енергетичному E , матеріальному M , інформаційному I та функціональному F критеріям існування СППС.

У випадку, якщо рівняння існування задовольняють умовам ТЗ (блок 11), наступним кроком є формування документації

щодо завершення ранньої стадії розробки та перехід до формування технічного проєкту (блок 12).

Якщо за будь-яким критерієм рівняння існування характеристика СППС не відповідає умовам ТЗ, необхідно переходити до пошуку рішення, яке забезпечить виконання умов, що заявлені (блок 13). Основною дією цього рішення буде процес проєктування елементу(-ів), що забезпечить виконання рівняння існування, яке призвело до необхідності пошуку рішення (блок 15).

Відсутність будь-якого рішення, що задовольняє умовам ТЗ, викликає необхідність формування пропозицій до коригування останнього зі згоди замовника (блок 16). Згода замовника (блок 17) повертає проєктанта до початку алгоритму, а відмова призводить до висновку про неможливість створення СППС.

Таким чином, методика проєктування системи енергоживлення СППС, сутність якої відображають рівняння (4.22) – (4.36), є складовою узагальненої методики проєктування безекіпажних самохідних прив'язних підводних систем на основі системного підходу.

Основою результатів викладок, які розглянуті, є намагання досягти комплексного підходу до проєктування СППС з метою надати відповідь на головне питання, що полягає у можливості її створення.

Це питання особливо актуально на ранніх стадіях проєктування, коли помилки в основних підходах можуть призвести до перевитрати трудових та фінансових ресурсів чи взагалі до неможливості більш-менш успішного закінчення проєкту.

У багатьох літературних джерелах теоретично вирішені та підтверджені на практиці питання взаємосуперечливого впливу енергетичної складової системного підходу окремо на матеріальну, інформаційну та функціональну складові, але розгляд цього питання у комплексі представлено ще не було.

4.3 Особливості проектування СППС для гуманітарного розмінування акваторій на основі взаємозв'язку параметрів рівнянь існування

Однією з найнебезпечніших загроз судноплавству є мінні загородження при виході суден з портів базування і при їх проходженні заздалегідь відомими (рекомендованими) морськими шляхами.

Існування мінної загрози призводить до блокування шляхів активного морського руху, виходів з вузькостей та портів, а також обмеження маневрування у акваторіях, в яких плануються проведення активної морегосподарської діяльності.

Зважаючи на це, відповідні державні служби повинні мати ефективні технічні засоби для гуманітарного розмінування акваторій, яке має нейтралізувати мінну загрозу.

У якості такого технічного засобу пропонується використання СППС, (в англomовній літературі – Self-Propelled Tethered Underwater System, SPUS), СППА, який виконує рух попереду судна-носія, виявляючи ППНО за допомогою відповідних пошукових приладів, рис. 4.1.

До складу СППС такого призначення, зазвичай, входять також ПЕК, КТ (в англomовній літературі – Cable-tether, CT), ЛКТ та спеціалізований СПП.

Проектування таких СППС пов'язане з необхідністю розв'язувати низку взаємно суперечливих вимог, зокрема, між масогабаритними розмірами СППА, його енергетичними можливостями для забезпечення заданої продуктивності та пошуковими спроможностями за призначенням.

При цьому, при створенні протимінних морських роботизованих систем однією з найбільш складних задач є проектна задача забезпечення заданих у ТЗ пошукових характеристик СППА щодо виявлення морських мін J_S та забезпечення заданих характеристик руху СППС – швидкості руху СППА J_V , робочої

глибини руху СППА J_H та дистанції СППА від СН J_L , де J_S , J_V , J_H та J_L – підмножини множини J_{ROV} є експлуатаційними (функціональними) характеристиками СППА (позначення змінних – за [74]).

Зазначимо, що експлуатаційна характеристика J_S забезпечує пошукові спроможності СППС, а експлуатаційні характеристики J_V , J_H та J_L забезпечують можливість реалізації операцій з гуманітарного розмінування у цілому згідно з призначенням СППС.

Створення сучасних засобів морської робототехніки для гуманітарного розмінування є складною наукоємною задачею, що має базуватись на конструктивній, енергетичній, інформаційній та функціональній складових системного підходу [69].

Для реалізації системного підходу невирішеною є задача створення науково обґрунтованої прикладної інженерної методики проектної оцінки інформаційної та експлуатаційної складових проекту СППС.

Така методика має давати проектувальнику можливість знаходити технічні рішення в умовах взаємно суперечливих вимог ТЗ до експлуатаційних характеристик СППС та відстані апарата від СН, а також швидкості його руху з обмеженнями масогабаритних показників цього засобу морської робототехніки.

У якості теоретичної основи удосконалення методики проектування СППС використовується системний підхід, зокрема на основі застосування рівнянь існування, а також методологія гідроакустичного виявлення ППНО як основа пошуку проектних рішень конструкції СППА протимінної СППС.

Типова технологія застосування СППС гуманітарного розмінування з борту СН передбачає синхронний усталений плоский рух системи «СН – КТ – СППА» з заданою швидкістю $v_{СППС}$, коли СППА рухається попереду СН на заданій глибині.

У конкретному випадку згідно з рівнянням (3.19) та табл. 3.4 з повною комплектацією рівняння існування за інформаційною складовою КНПА матиме вигляд:

$$I_{\text{КТ_КНПА}} \geq i_{\text{СК}} + 2 \cdot i_{\text{ВКК}} + i_{\text{ОС}} + i_{\text{ДСШ}} + i_{\text{ІСО}} + 2 \cdot i_{\text{ГКО}} + \\ + i_{\text{ГБП}} + i_{\text{П}} + i_{\text{М}} + i_{\text{РТ}} + i_{\text{ЛЗ}}.$$

Сума, що знаходиться у правій частині нерівності, складатиме фактичну інтенсивність інформаційного обміну:

$$\Sigma I_{\text{КНПА_Ф}} = i_{\text{СК}} + 2 \cdot i_{\text{ВКК}} + i_{\text{ОС}} + i_{\text{ДСШ}} + i_{\text{ІСО}} + 2 \cdot i_{\text{ГКО}} + \\ + i_{\text{ГБП}} + i_{\text{П}} + i_{\text{М}} + i_{\text{РТ}} + i_{\text{ЛЗ}}.$$

Інформаційна складова рівнянь існування у загальному випадку для КНПА матиме вигляд:

$$\Sigma I_{\text{КНПА_Ф}} \leq \Sigma I_{\text{КТ_КНПА_ТЗ}},$$

де $\Sigma I_{\text{КТ_КНПА_ТЗ}}$ – сума інформаційних каналів, що мають бути забезпечені для КНПА згідно технічного завдання через КТ.

Як приклад розглянемо випадок з проектної практики. При проектуванні СППА для протимінного судна виникла проблема, обумовлена неможливістю забезпечити його рух на заданій у ТЗ глибині та відстані від СН внаслідок невиконання рівняння енергетичного балансу (РКК підводного апарата не може забезпечувати його рух з заданими значеннями швидкості і глибини).

Висвітлення підводної обстановки попереду СППА забезпечується гідролокатором, який може бути замінений за погодженням з Замовником. Змінюючи значення параметра дальності огляду гідролокатора, що входить до інформаційної складової, у більший бік, можливо забезпечити рух СППА на меншій глибині, не зменшуючи площу огляду, яка задана у ТЗ, а також досягаючи відповідного енергетичного балансу для КНПА.

Застосування рівнянь існування за інформаційною та функціональною складовими для конкретного прикладу ескізного проекту КНПА дає можливість обґрунтувати на основі розрахунків доцільність реалізації технічного рішення, яке відповідає вимогам ТЗ, виходячи з результатів вибору характеристик пошукового та навігаційного обладнання.

Рівняння існування за енергетичним балансом не могли задовольнити вимоги ТЗ, а на основі застосування рівнянь існування за інформаційною та функціональною складовими вдалось знайти альтернативне рішення щодо зміни конфігурації пошукового мінопошукового обладнання таким чином, що не довелося змінювати енергетичні параметри, які задовольняли вимогам технічного завдання.

Специфіка рівнянь існування за інформаційною складовою полягає у тісному зв'язку з рівняннями енергетичного балансу, що у даному випадку виявилось критичним, тому було знайдено проєктне рішення, яке забезпечило зменшене споживання електричної енергії підводним апаратом і, як наслідок, виконання проєктованим КНПА завдань за призначенням.

Таким чином, взаємний вплив складових, що входять до рівнянь існування на основі системного підходу, дозволяє ще на ранніх стадіях проектування перевіряти можливість створення КНПА, який відповідає вимогам ТЗ.

Наведемо схему прийняття рішення про створення СППС (рис. 4.3).

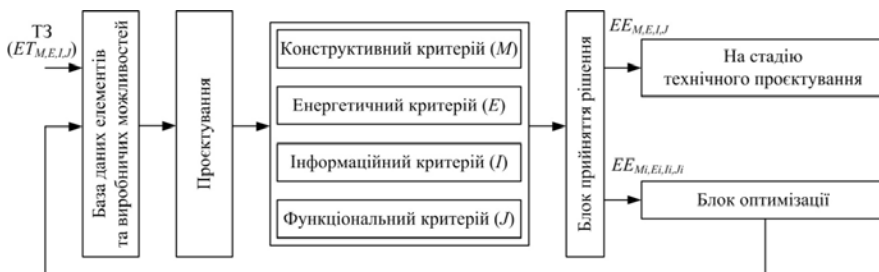


Рисунок 4.3 – Схема прийняття рішення про створення СППС

У разі, коли рівняння існування на ранніх стадіях проектування демонструють, що СППС можливо створити, тоді у цьому випадку всі чисельні параметри та складові, що їх забезпечують, мають отримати конкретне ресурсне (фінансове) визначення,

що формується конкретною вартістю на придбання елементів, присутніх на ринку, та витратами на їх виготовлення (у разі відсутності на ринку).

Таким чином, на цьому етапі обговорюються виробничі сили та їх заробітна платня, технологічна база, на якій відбуватиметься створення СППС з визначенням суми утримання цієї бази, та час, за який буде можливим отримання результату.

Згідно схеми відомості про чисельні значення параметрів, що є складовими рівнянь існування певного критерію, надходять з бази даних, що може змінюватись.

Після аналізу отриманих на виході результатів, в блоці прийняття рішень визначаються про відправку проекту на визначену стадію проектування чи виконати цикл оптимізації зі змінною вхідних параметрів. Ця схема є теоретичним підґрунтям використання рівнянь існування на базі системного підходу на ранніх етапах проектування СППС.

Цей етап дає відомості для остаточного прийняття рішення про створення СППС чи відмову від нього на даному етапі розвитку технічного прогресу та можливостей робочого персоналу в конкретних умовах його виробничого простору.

Таким чином, взаємний вплив складових, що входять до рівнянь існування системного підходу, дозволяє ще на ранніх стадіях проектування стверджувати про можливість створення КНПА, внаслідок використання більш продуктивного гідролокатора.

4.4 Успішні практики застосування розробленої методики проектування СППС

Теоретичне підґрунтя створення СППА для гуманітарного розмінування акваторій на базі системного підходу суттєво не відрізняється від обґрунтування процесу створення СППА цивільного призначення [115]. Відмінність полягає лише в тому, що в рівняннях (нерівностях) чи системах рівнянь (нерівностях) має та об'ємів, енергетичного та інформаційного

балансів, а також функціональної складової, необхідно враховувати особливості матеріалів, елементів, інформаційного обміну та експлуатації СППС, які визначаються специфічними умовами задач гуманітарного розмінування – малий рівень шуму, відсутність електромагнітних полів тощо.

4.4.1 Про особливості застосування системного підходу до проєктування «КНПА» та розроблену методику. Рівняння мас і об'ємів «КНПА».

Першим етапом розглянемо рівняння існування мас та об'ємів. Позначення мас та об'ємів елементів «КНПА» вже були наведені в розд. 3 відповідно до архітектурного типу.

Маса всіх елементів КНПА у загальному вигляді буде наступна.

$$m_{\text{КНПА}_\Phi} = \Sigma m_{\text{ПОСТ}} + \Sigma m_{\text{НАЧ}},$$

де $\Sigma m_{\text{ПОСТ}}$ – маса елементів постійного складу КНПА; $\Sigma m_{\text{НАЧ}}$ – маса елементів начіпного обладнання КНПА.

У випадку КНПА суми мас постійного та начіпного обладнання згідно з табл. 3.1 матимуть вигляд (скорочення ПБ і ЛБ – правий і лівий борт):

$$\Sigma m_{\text{ПОСТ}} = m_{\text{Р}} + m_{\text{БП}} + m_{\text{МК-ПБ}} + m_{\text{МК-ЛБ}} + m_{\text{РКК}} + 2 \cdot m_{\text{БСО}} + 2 \cdot m_{\text{БСД}} + m_{\text{ЕО_МК}} + 2 \cdot m_{\text{ВКК}} + m_{\text{СО}} + m_{\text{ОС}} + m_{\text{ДСШ}} + m_{\text{К}};$$

$$\Sigma m_{\text{НАЧ}} = 2 \cdot m_{\text{ГКО}} + m_{\text{ГБП}} + m_{\text{П}}.$$

Наведемо рівняння існування мас в чисельному форматі:

$$\Sigma m_{\text{ПОСТ}} = 32,2 + 11,7 + 37,8 + 37,8 + 114 + 17,8 + 10,8 + 1,6 + 11,0 + 1,84 + 4,2 + 9,2 + 10,0 = 299,94 \text{ кг};$$

$$\Sigma m_{\text{НАЧ}} = 6,0 + 19,0 + 6,3 = 31,3 \text{ кг}.$$

У такому випадку:

$$m_{\text{КНПА}_\Phi} = 299,94 + 31,3 = 331,24 \text{ кг}.$$

Рівняння існування за масою у загальному випадку надаватиме відповідь на питання чи задовольняє отримана фактична маса апарата $m_{\text{КНПА}_\Phi}$ масі за технічним завданням $m_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}}$ на його створення та матиме вигляд.

$$m_{\text{КНПА}_\Phi} \leq m_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}}.$$

За технічним завданням маса КНПА $m_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}} = 350$ кг, а фактична маса складає $m_{\text{КНПА}_\Phi} = 331,24$ кг, тоді:

$$331,24 \text{ кг} \leq 350 \text{ кг},$$

що задовольняє умові технічного завдання.

Таким же чином виконаємо побудову рівнянь існування за об'ємом.

Об'єм всіх елементів:

$$V_{\text{КНПА}_\Phi} = \Sigma V_{\text{ПОСТ}} + \Sigma V_{\text{НАЧ}},$$

де $\Sigma V_{\text{ПОСТ}}$ – об'єм елементів постійного складу КНПА; $\Sigma V_{\text{НАЧ}}$ – об'єм елементів начіпного обладнання КНПА.

$$\begin{aligned} \Sigma V_{\text{ПОСТ}} = & V_{\text{Р}} + V_{\text{БП}} + V_{\text{МК-ПБ}} + V_{\text{МК-ЛБ}} + V_{\text{РКК}} + 2 \cdot V_{\text{БСО}} + \\ & + 2 \cdot V_{\text{БСД}} + 2 \cdot V_{\text{ВКК}} + V_{\text{СО}} + V_{\text{ОС}} + V_{\text{ДСШ}} + V_{\text{К}}; \end{aligned}$$

$$\Sigma V_{\text{НАЧ}} = 2 \cdot V_{\text{ГКО}} + V_{\text{ГБП}} + V_{\text{П}} + V_{\text{М}}.$$

Наведемо рівняння існування мас в чисельному форматі:

$$\begin{aligned} \Sigma V_{\text{ПОСТ}} = & 48,5 + 24 + 36,5 + 36,5 + 48,2 + 90,4 + \\ & + 36,5 + 4,6 + 0,92 + 3 + 5 + 10 = 344,12 \text{ дм}^3; \end{aligned}$$

$$\Sigma V_{\text{НАЧ}} = 3,2 + 10 + 3,7 = 16,9 \text{ дм}^3.$$

У такому випадку:

$$V_{\text{КНПА}_\Phi} = 344,12 + 16,9 = 361 \text{ дм}^3.$$

Рівняння існування за об'ємом у загальному випадку надаватиме відповідь на питання чи задовольняє отриманий фактичний об'єм апарата $V_{\text{КНПА}_\Phi}$ технічному завданням $V_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}}$ на його створення та матиме вигляд.

$$V_{\text{КНПА}_\text{Ф}} \leq V_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}}.$$

За технічним завданням об'єм КНПА $V_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}} = 774,4 \text{ дм}^3$, а фактичний об'єм складає $V_{\text{КНПА}_\text{Ф}} = 361 \text{ дм}^3$, тоді:

$$361 \text{ дм}^3 \leq 774,4 \text{ дм}^3,$$

що задовольняє умові технічного завдання.

4.4.2 Рівняння енергетичного балансу «КНПА»

Рівняння існування за енергетичним балансом буде складатися з суми потужностей електрообладнання підводного апарата, що визначатиметься режимом його роботи.

Для орієнтовного уявлення розглянемо режим, коли все електрообладнання КНПА увімкнено (перевірка працездатності на палубі), але на практиці потужність буде коригуватись в залежності від задачі, яку виконуватиме апарат:

$$P_{\text{КНПА}_\text{Ф}} = P_{\text{РКК}} + P_{\text{ЕО}_\text{МК}} + 2 \cdot P_{\text{ВКК}} + P_{\text{СО}} + P_{\text{ОС}} + \\ + P_{\text{ДСШ}} + 2 \cdot P_{\text{ГКО}} + P_{\text{ГБП}} + P_{\text{П}}.$$

Зведемо рівняння енергетичного балансу з чисельними показниками:

$$P_{\text{КНПА}_\text{Ф}} = 26,2 + 0,123 + 0,024 + 0,04 + 0,008 + \\ + 0,01 + 0,03 + 0,01 + 0,01 = 26,455 \text{ кВт}.$$

Згідно ТЗ може надаватися обмежена потужність, що виділяється на СН чи при якомусь іншому варіанті живлення. Виходячи з цього, у глобальному розумінні умовою створення системи є менше значення проектної потужності у порівнянні з потужністю підводного апарата, що задана:

$$P_{\text{КНПА}_\text{Ф}} \leq P_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}}.$$

За технічним завданням потужність складає $P_{\text{КНПА}_\text{ТЗ}} = 27,5 \text{ кВт}$, а фактична потужність у найбільш енерговитратному режимі роботи складає $P_{\text{КНПА}_\text{Ф}} = 26,455 \text{ кВт}$, тоді:

$$26,455 \text{ кВт} \leq 27,5 \text{ кВт},$$

що задовольняє умові ТЗ.

Що ж стосується максимального значення потужності $P_{СППС}$, яка відбирається від електростанції СН, то її значення визначається як максимальне значення сумарної споживаної потужності $P_{СППС}$ з множини N режимів роботи СППС.

Як приклад, у табл. 4.1. наведено значення потужностей для СППС одного з проектів, який розроблявся у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова [101].

Таблиця 4.1 – Значення потужностей, що споживаються СППС проекту «КНПА», в основних режимах роботи

№ з/п	Найменування режиму	$P_{ПЕК}$, кВт	$\Delta P_{КТ}$, кВт	$P_{КЛ}$, кВт	$P_{СПП}$, кВт	$P_{СППА}$, кВт	$P_{СППС}$, кВт
1	а)	1,1	0,03	–	–	1,36	2,49
2	б)	1,1	–	1,3	9,2	–	11,6
3	в)	1,1	1,5	3,5	–	15,0	21,1
4	г)	1,1	3,0	13,2	–	27,5	44,8
5	г)	1,1	3,0	13,2	–	27,5	44,8
6	д)	1,1	3,0	6,6	–	13,7	24,4

Таким чином, варіанту СППС, що розглядається, отримуємо значення максимальної споживаної потужності $P_{СППС} = 44,8$ кВт.

Тоді:

$$P_{СППС_Ф} \leq P_{СППС_ТЗ}.$$

За технічним завданням потужність складає $P_{СППС_ТЗ} = 50$ кВт, а фактична потужність у найбільш енерговитратному режимі роботи складає $P_{СППС_Ф} = 44,8$ кВт, тоді:

$$44,8 \text{ кВт} \leq 50 \text{ кВт},$$

що задовольняє умові ТЗ.

4.4.3 Рівняння балансу інформаційних потоків «КНПА»

Для «КНПА» наведемо оцінку впливу інформаційної складової рівнянь існування, в якому досягнення умов технічного завдання стало можливим при заміні одного гідролокатора на

інший, що мав кращі технічні характеристики. Це дало змогу апарату, що за проектом йде попереду судна, рухатися на більшій висоті над ґрунтом при отриманні інформації про підводну обстановку за курсом у повному обсязі.

У свою чергу, рух підводного апарата на зменшеній глибині дав змогу знизити гідродинамічний опір та, відповідно, знизити розрахункову потужність РКК апарата.

Рівняння існування «КНПА» за інформаційною складовою пропонується складати у формі системи рівнянь двох типів – комунікаційного та пошукового.

Комунікаційне рівняння (нерівність) у лівій частині має містити пропускну здатність КТ, а в правій – сумарну інтенсивність інформаційного обміну бортових приладів підводного апарата:

У конкретному випадку з повною комплектацією рівняння існування за інформаційною складовою КНПА матиме вигляд:

$$I_{\text{КТ_КНПА}} \geq i_{\text{СК}} + 2 \cdot i_{\text{ВКК}} + i_{\text{ОС}} + i_{\text{ДСШ}} + i_{\text{СО}} + 2 \cdot i_{\text{ГКО}} + i_{\text{ГБП}} + i_{\text{П}} + i_{\text{М}} + i_{\text{РТ}} + i_{\text{ЛЗ}}.$$

Сума, що знаходиться у правій частині нерівності складатиме фактичну інтенсивність інформаційного обміну:

$$\Sigma I_{\text{КНПА_Ф}} = i_{\text{СК}} + 2 \cdot i_{\text{ВКК}} + i_{\text{ОС}} + i_{\text{ДСШ}} + i_{\text{СО}} + 2 \cdot i_{\text{ГКО}} + i_{\text{ГБП}} + i_{\text{П}} + i_{\text{М}} + i_{\text{РТ}} + i_{\text{ЛЗ}}.$$

Наведемо дану суму у чисельному форматі:

$$\Sigma I_{\text{КНПА_Ф}} = 10 + 128 + 6 + 2 + 2 + 12 + 15 + 4 + 2 + 1 + 1 = 183 \text{ Мбіт/с}.$$

Інформаційна складова рівнянь існування у загальному випадку для КНПА матиме вигляд:

$$\Sigma I_{\text{КНПА_Ф}} \leq \Sigma I_{\text{КТ_КНПА_ТЗ}},$$

де $\Sigma I_{\text{КТ_КНПА_ТЗ}}$ – сума інформаційних каналів, що мають бути забезпечені для КНПА згідно технічного завдання через КТ.

За технічним завданням інтенсивність інформаційного обміну, що забезпечується КТ складає $\Sigma I_{\text{КТ_КНПА_ТЗ}} = I_{\text{КТ_КНПА}} = 200 \text{ Мбіт/с}$, а фактична інтенсивність інформаційного обміну складає $\Sigma I_{\text{КНПА_Ф}} = 183 \text{ Мбіт/с}$, тоді:

$$183 \text{ Мбіт/с} \leq 200 \text{ Мбіт/с},$$

що задовольняє умові ТЗ.

У випадку «КНПА» склалася проблема, що за рівнянням енергетичного балансу рушійно-кермовий комплекс підводного апарата не може забезпечувати його рух на заданій глибині та відстані від судна, значення яких наведені у технічному завданні.

Висвітлення підводної обстановки попереду «КНПА» забезпечується гідролокатором, який може бути замінений. Змінюючи значення параметра дальності огляду гідролокатора, що входить до інформаційної складової, у більший бік, можливо забезпечити рух «КНПА» на меншій глибині, не зменшуючи площу огляду, яка задана технічним завданням, а також досягаючи відповідного енергетичного балансу за системним підходом.

Розрахунок проводимо для двох варіантів КТ – з діаметром 14 мм та діаметром 20 мм. Це обумовлено тим, що завдання на проектування кабельної лебідки було видане контрагенту для КТ діаметром 20 мм, отриманого на етапі технічної пропозиції (ескізного проекту).

Подальші дослідження, виконані на етапі ескізного проекту (технічного проекту), свідчать про можливість використання кабель-троса з меншим діаметром 14 мм.

Розрахунок виконуємо у плоскій постановці. Попередні розрахунки показують, що при швидкості набігаючого потоку води $V = 3 \text{ м/с}$, діаметрі кабель-троса $d = 14 \text{ мм}$ та упорі маршових рушіїв $T_x = 2450 \text{ Н}$ підводний апарат надійно буде утримуватися в точці з координатами $X = 300 \text{ м}$, $Y = -50 \text{ м}$.

На рис. 4.4, а зображено схему застосування КНПА, обладнаного багатопроменевим гідролокатором Eclipse Multibeam, випромінювач якого орієнтовано горизонтально.

Ширина променю гідролокатора $\alpha = 120^\circ$, сектор огляду складає $\beta = 45^\circ$, радіус дії $r_s = 120$ м.

Розрахуємо довжину смуги ґрунту l_1 , яка потрапить в зону дії гідролокатора:

$$(l_1/2)^2 = r_s^2 - h^2; \quad l_1 = 132 \text{ м.}$$

Розрахуємо ширину смуги ґрунту w , яка потрапить в зону дії гідролокатора:

$$w/2 = h \cdot \operatorname{tg}(\beta/2); \quad w = 82 \text{ м.}$$

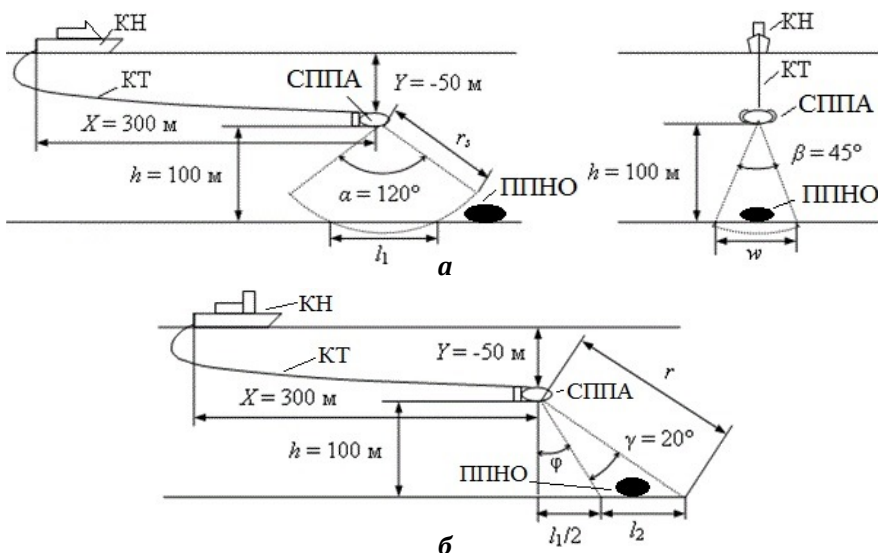


Рисунок 4.4 – Схема застосування КНПА:

- а – з гідролокатором Eclipse Multibeam, встановленим горизонтально;
- б – з одночасною роботою гідролокаторів Eclipse Multibeam та Super SeaKing DST

Таким чином, заданий у ТЗ фрагмент ґрунту радіусом 40 м, який знаходиться на глибині 150 м та на відстані 300 м від СН, надійно потрапляє у зону дії гідролокатора.

Розглянемо схему застосування КНПА з одночасною роботою гідролокаторів Eclipse Multibeam та Super SeaKing DST.

Розташуємо гідролокатор Super SeaKing DST таким чином, щоб смуга ґрунту, яка потрапляє в зону дії його променя, лягала у стик з зоною дії гідролокатора Eclipse Multibeam.

Розрахуємо довжину зони дії гідролокатора l_2 . Ширина променю гідролокатора Super SeaKing DST $\gamma = 20^\circ$, максимальний радіус дії 300 м:

$$\varphi = \arctg(l_1 / (2h)) = 33,4^\circ;$$
$$l_1 / 2 + l_2 = h \cdot \tg(\varphi + \gamma); \quad l_2 = 69 \text{ м.}$$

Радіус дії r гідролокатора Super SeaKing DST при цьому складатиме:

$$r^2 = (l_1 / 2 + l_2)^2 + h^2; \quad r = 168 \text{ м.}$$

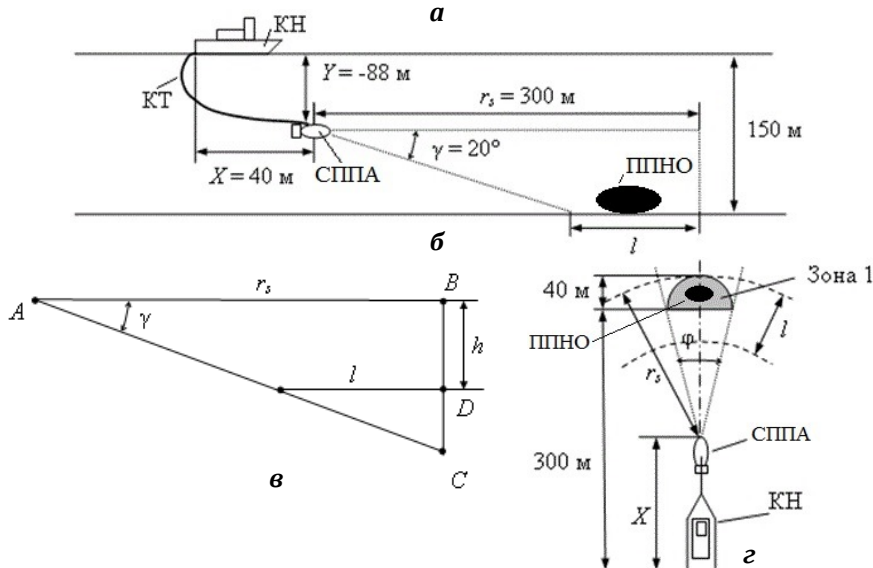
Таким чином, в зону дії гідроакустичного обладнання КНПА потрапляє фрагмент ґрунту, початок якого знаходиться на глибині 150 м та на відстані 300 м від СН, і його довжина складає $l_1 / 2 + l_2 = 135$ м (рис. 4.4, б).

Таким чином, розглянута схема роботи з одночасною роботою гідролокаторів «Eclipse Multibeam» та «Super SeaKing DST» з розрахунком параметрів зони огляду КНПА при використанні такої комбінації гідроакустичної апаратури.

Розглянемо схеми застосування КНПА з КТ діаметром $d = 20$ мм.

Для цього методом комп'ютерного моделювання було виконано розрахунок меж положення КНПА з сумарним маршовим упором $T_x = 2450$ Н при швидкості руху в потоці $V = 3$ м/с (рис. 4.5, а).

Попередні розрахунки показують, що підводний апарат доцільно розташувати відносно СН в точці з координатами $X = 40$ м, $Y = -88$ м та розрахуємо довжину смуги ґрунту l , яка потрапляє в зону дії гідроакустичного випромінювання (рис. 4.5, б).



125

Випромінювач гідролокатора Super SeaKing DST орієнтовано горизонтально.

Схема для розрахунку координат наведена на рис. 4.5, в.

Знайдемо довжину зони огляду:

$$BC = r_s \cdot \operatorname{tg}(\gamma) = 300 \cdot \operatorname{tg}20 = 109,2 \text{ м};$$

$$h = Y + 150 = 62 \text{ м};$$

$$DC = BC - h = 109,2 - 62 = 47,2;$$

$$l = DC \cdot r_s / BC = 47,2 \cdot 300 / 109,2 = 129,7 \text{ м}.$$

На рис. 4.5 (з) зображено роботу гідролокатора в секторно-му режимі роботи.

На рисунку позначено «Зона 1» – площа ґрунту, яка обов'язково повинна попадати під дію гідролокатора.

Величина сектору $\varphi = 2 \cdot \operatorname{arctg} (40 / (300 - 40)) = 17,2^\circ$.

Таким чином при використанні кабель-тросу діаметром $d = 20$ мм «КНПА» можна розташувати в точці з координатами $X = 40$ м, $Y = -88$ м, при цьому довжина смуги ґрунту, яка потрапляє в зону дії гідроакустичного випромінювання складає $l = 129,7$ м, величину сектору огляду необхідно встановлювати $\varphi = 17,2^\circ$.

Довжина КТ $L = 230$ м в цій точці забезпечує мінімально можливий гідродинамічний опір.

Розглянемо застосування «КНПА» в точці майже максимально віддаленій від СН – з координатами $X = 245$ м, $Y = -20$ м та діаметром КТ $d = 20$ мм.

Як видно з рис. 4.6, в цій точці РКК «КНПА» також здатний забезпечити надійне утримання апарата при швидкості набігаючого потоку води 3 м/с та діаметрі КТ $d = 20$ мм.

Розрахуємо кут β , під яким необхідно встановити гідролокатор, щоб забезпечити попадання в зону дії гідроакустичного випромінювання смуги ґрунту, а також обчислимо довжину цієї смуги l (рис. 4.6).

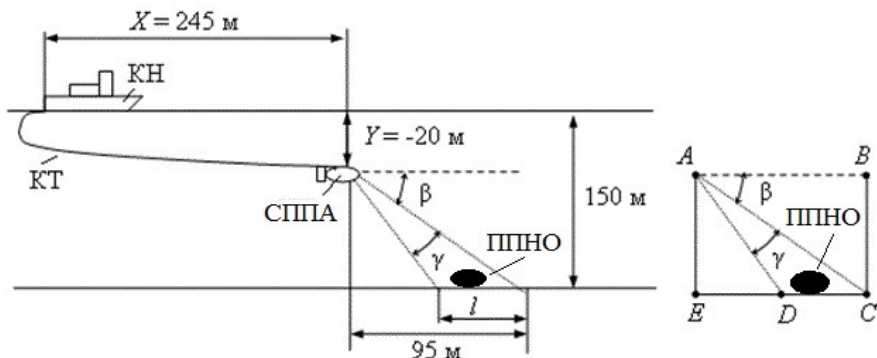


Рисунок 4.6 – Схема застосування КНПА з гідролокатором Super SeaKing DST, який встановлено під кутом β

З рисунку видно, що $AB = 95$ м, $BC = 130$ м, $l = DC$, ширина гідроакустичного променю $\gamma = 20^\circ$. Тоді:

$$\beta = \arctg(BC / AB) = 53,8^\circ;$$

$$AC^2 = AB^2 + BC^2; AC = 161 \text{ м.}$$

Величина AC утворює радіус дії гідролокатора r_s для цього випадку:

$$AD = AE / \cos(90^\circ - \gamma - \beta) = 130 / \cos(16,2) = 135,4 \text{ м};$$

$$l^2 = AD^2 + AC^2 - 2 \cdot AD \cdot AC \cdot \cos(\gamma); l = 57,4 \text{ м.}$$

Величина сектору для цього випадку дорівнює

$$\varphi = 2 \cdot \arctg(40 / AC) = 27,9^\circ.$$

Довжина КТ $L = 260$ м в цій точці забезпечує мінімально можливий гідродинамічний опір КТ.

Таким чином, при діаметрі КТ $d = 20$ мм пропонується дві схеми застосування підводного апарата для виконання поставленої задачі з використанням гідролокатора Super SeaKing DST:

- координати КНПА $X = 40$ м, $Y = -88$ м, величина сектору огляду гідролокатора $\varphi = 17,2^\circ$, гідролокатор встановлюється горизонтально, довжина попущеної частини КТ

$L = 230$ м; при цьому довжина смуги, що потрапляє у зону дії гідролокатора $l = 129,7$ м, а мінімальна ширина смуги $b = 80$ м;

- координати КНПА $X = 245$ м, $Y = -20$ м, величина сектору $\varphi = 27,9^\circ$, гідролокатор встановлюється під кутом $\beta = 53,8^\circ$, довжина попущеної частини КТ $L = 260$ м; при цьому довжина смуги, що потрапляє у зону дії гідролокатора $l = 57,4$ м, а мінімальна ширина смуги $b = 80$ м.

Таким чином, пошукові характеристики виробу відповідають вимогам ТЗ.

4.4.4 Функціональна складова «КНПА»

У випадку синтезу рівнянь існування за рівнем функціональності визначають, що проведення підводної місії з залученням СППА передбачає декілька етапів, ефективність яких повною мірою визначає кінцевий результат. Ключовим виконавцем цих етапів є оператор підводної техніки, тобто особа, що приймає рішення (ОПР). В залежності від кількості екіпажу, що обслуговує СППА, розрізняють оператора, який працює з ПЕК, комп'ютерною технікою та програмним забезпеченням, і оператора, що виконує технічні операції на палубі СН. Наведемо ці етапи та їх коротку характеристику, що виконуються на СН у відкритому морі.

За функціональним рівнем пропонується виділяти чотири етапи роботи з СППА:

1. Підготовка підводної місії. Передбачається комп'ютерна діагностика стану СППА на заданому рівні автоматизації. Також виконується візуальний та технічний огляд, перевірка механізмів СППА на відкритій палубі чи березі, перевірка міцних корпусів на герметичність, спуск СППА на воду з операцією вивішування до стану нульової (від'ємної, додатної у разі необхідності) плавучості за допомогою поплавців та тягарців, що встановлюються у визначені місця рами, або за допомогою крено-диферентної системи [116].

При виконанні ПТР у відкритому морі на базі СН завжди надається обмаль часу на підготовку підводної місії. Це обумовлюється погодними умовами району проведення ПТР, обмеженням часом роботи СН, сумарної заробітної плати екіпажу, витратою пального та інших ресурсів.

Зважаючи на це, рівняння існування за цим етапом полягатиме у часі, що витрачається на всі технологічні операції, які виконуються з СППС. Цей час має бути меншим чи рівним тому, що може забезпечити Замовник, тоді проектна вимога за цим етапом буде виконуватися.

$$t_{\text{під}} \leq t_{\text{під,з}};$$
$$t_{\text{під}} = t_{\text{кд}} + t_{\text{пг}} + t_{\text{то}} + t_{\text{ов}} + t_{\text{спо}}.$$

У цих рівняннях прийняті наступні позначення:

$t_{\text{під}}$ – фактичний час підготовки СППС до місії;

$t_{\text{під,з}}$ – час підготовки СППС до місії, що може бути забезпечений замовником;

$t_{\text{кд}}$ – час комп'ютерної діагностики СППС;

$t_{\text{пг}}$ – час перевірки міцних корпусів на герметичність;

$t_{\text{то}}$ – час технічного огляду;

$t_{\text{ов}}$ – час операції вивішування СППС;

$t_{\text{спо}}$ – час спуско-підйомної операції(-й).

У випадку, коли підводну місію необхідно провести біля непідготовленої берегової ділянки за відсутності СН чи неможливості його підходу, до загального часу підготовки додається час розгортки спеціальних засобів для виконання спуску СППА в таких умовах.

Як шлях до скорочення часу підготовки підводної місії є розробка програмного забезпечення, яке дозволить виконати процес вивішування за один цикл спуску та підйому СППА. Для цього підводний апарат чи спуско-підймальний пристрій мають бути оснащені спеціальними датчиками, які визначатимуть сили та моменти, що діють на СППА у воді.

Базуючись на значеннях, що отримані від датчиків, програма розраховуватиме точку встановлення та масу тягарця чи об'єм поплавця, які необхідно розташувати на рамі СППА для досягнення необхідної плавучості.

При наявності у складі СППА крено-диферентної системи відпадає необхідність підйому апарата на палубу, а визначається рівень наповнення баластних цистерн, що можуть бути розташовані в кормі чи в носі, або по бортах підводної техніки.

Для першого та другого випадку існує необхідність ефективного захватного пристрою спуско-підймальний пристрій, що дозволить зручно, а головне швидко виконувати процес відчеплення та підхвату СППА в умовах хвилювання морської поверхні.

Також до підготовки підводної місії можливо віднести процес попереднього проходження СППА у водній товщі для створення карти донної поверхні, якщо вона не надана. Цей процес буде доречним у випадку, якщо необхідно пересвідчитись у достовірності наданої карти донної поверхні та впевнитися у відсутності її зміни. Особливо це важливо в умовах стисненої навігаційної обстановки.

Можливість зменшення часу підготовки місії може досягатися шляхом використання у конструкції СППС таких технічних рішень, що забезпечують мінімальний час при його обслуговуванні.

Якщо потребується значний час на виконання якогось етапу підготовки, то необхідно планувати його проведення під час переходу СН з однієї точки проведення робіт у іншу.

2. Виконання підводної місії. Як сказано вище, головною метою місії є виконання всіх операцій під водою протягом одного занурення. Ця мета має досягатися за рахунок автоматизації процесів для типових ПТР, в яких людині відводиться роль спостерігача, що бере на себе керування безпосередньо біля підводного об'єкта для виконання особливо складних маніпуляцій.

Підводна місія може бути пошукова з використанням гідроакустичних приладів, дослідницька з рухом галсами при документуванні донної поверхні, мати вигляд безперервного руху над протяжним об'єктом, а також ПТР може класифікуватися як інструментальна, що розуміє під собою активні дії начіпного обладнання СППА з метою зміни підводної обстановки [117; 118].

У випадку пошуку підводного об'єкта автоматизації підлягає рух СППА до цілі за визначеним пеленгом з метою її допошуку, а у випадку руху галсами доцільним було б автоматизувати рух галсами над певною площею донної поверхні з визначеною похибкою відхилення від траєкторії, збільшення якої призводить до сигналізації на ПЕК для привернення уваги ОНР.

При русі СППА над протяжним об'єктом автоматизації має підлягати процес його утримання на заданому курсі [119].

На ПЕК в залежності від виду місії на моніторі мають відображатися символи, цифри чи динамічні графічні зображення, що є пріоритетними в даному режимі. Ці елементи повинні розташовуватися в тих областях екрану, де їх сприйняття ОНР є зручним, природним та логічно обґрунтованим.

При моніторингу пріоритетного значення його відхилення має супроводжуватися, наприклад, блиманням цифрового значення з відповідним його збільшенням, змінною кольору та звуковим сигналом.

При пошукових операціях автоматичний рух СППА до об'єкта має супроводжуватися так званими функціями навігатора, тобто на екрані демонструється прогнозований час підходу до цілі з сигналізацією моменту, коли ОНР має переходити на ручне керування.

3. Оформлення результатів підводної місії. У загальному випадку СППА розглядається як периферійний пристрій, що дозволяє виконувати ПТР та надавати інформацію у спеціалізований центр, який знаходиться на СН чи на березу. У цьому центрі має знаходитися сервер обміну, який містить базу даних про підводні об'єкти та карти донної поверхні.

Завдяки спеціалізованому програмному забезпеченню для обробки та аналізу зображень, що надходять від СППА здійснюється ідентифікація підводного об'єкта та його класифікація у відсотковому еквіваленті.

Таким чином, обробка результатів місії вимагає наявності спеціалізованого програмного забезпечення та їх оформлення відбувається з використанням стандартних текстових редакторів, програм для роботи з відеорядом та передбачає вимоги до оптимізації даних кінцевого формату результатів місії, що включає зберігання зайвої інформації на сервері.

Важливою складовою результатів місії повинно бути те, що формат представлення результатів одразу повинен формуватися таким, що відповідає вимогам Замовника. Значна економія часу та зручність при оформленні результатів може досягатися використанням визначеної структури звіту, розділи якого можуть заповнюватися за допомогою голосового набору з перетворенням у текст, фотоматеріалами та фрагментами відео.

4. Завершення підводної місії. Етап завершення підводної місії призначено для створення циклу застосування СППА при проведенні ПТР. На цій стадії ОПР визначає, які дії необхідно провести з СППА після огляду для його подальшого використання.

В залежності від технічного стану підводної техніки та генерального плану проведення ПТР з підводним апаратом можливе виконання наступних дій:

- а) підготовка до повторного занурення;
- б) ремонт;
- в) підготовка до короткочасного та тривалого зберігання (консервація);
- г) підготовка до транспортування будь-яким видом транспорту чи передачі сторонній особі.

Підводячи підсумок вищенаведеному необхідно виділити, що рівень функціональності СППА напряму залежить від рівня

автоматизації при роботі з ними, що визначатиме кількість персоналу, який буде задіяний у виконанні ПТР із застосуванням СППА.

Також час знаходження СН в морі, а відповідно, і витрати Замовника будуть залежати від рівня функціональності СППА.

Завдяки такому підходу можливо досягти виконання всіх описаних операцій ПТР за один вихід.

Позначення складових часу, що витрачаються на підготовку «КНПА» до підводної місії зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Позначення складових часу підготовки «КНПА»

№ з/п	Назва процесу	Позначення
1	Зовнішній огляд	$t_{зо}$
2	Комп'ютерна діагностика	$t_{кд}$
3	Перевірка механізмів на палубі	$t_{пм}$
4	Спуск на воду	$t_{св}$
5	Вивішування	$t_{в}$

Рівняння існування за цим критерієм полягатиме в тому, щоб фактичний загальний час підготовки «КНПА» до підводної місії $T_{під_кнпа_ф}$ не перевищував час, що заданий технічним завданням $T_{під_кнпа_тз}$.

$$T_{під_кнпа_ф} \leq T_{під_кнпа_тз}.$$

У випадку «КНПА» фактичний час підготовки $T_{під_кнпа_ф}$ складатиметься з суми часу етапів підготовки:

$$T_{під_кнпа_ф} = t_{зо} + t_{кд} + t_{пм} + t_{св} + t_{в}.$$

Наведемо це рівняння у числовому форматі:

$$T_{під_кнпа_ф} = 15 + 10 + 20 + 30 + 20 = 95 \text{ хв.}$$

За технічним завданням загальний час підготовки КНПА складає $T_{\text{під_КНПА_ТЗ}} = 120$ хв., а фактичний час підготовки складає $T_{\text{під_КНПА_Ф}} = 95$ хв., тоді:

$$95 \text{ хв.} \leq 120 \text{ хв.},$$

що задовольняє умові ТЗ.

У більш загальному випадку рівняння існування за функціональною складовою складно надати у вигляді якоїсь математичної залежності.

Скоріше за все це має бути система вимог, що повинні забезпечувати зручність та безпечність роботи оператора і обслуговуючого персоналу. Функціональна складова повинна враховувати також наявність на посту енергетики та керування СППС двох робочих місць оператора – оператора, який забезпечує функціонування, власне, підводного апарата і оператора змінного технологічного обладнання СППА.

ВИСНОВКИ

У монографії розв'язано актуальну прикладну наукову задачу удосконалення проектування самохідних прив'язних підводних систем на основі системного підходу та рівнянь існування як теоретичного підґрунтя для пошуку ефективних проектних рішень на ранніх стадіях їх створення

При цьому отримано наступні наукові та практичні результати:

1. Виконано огляд основних напрямків застосування СППС широкого призначення як складових загального напрямку роботизації морських технологій, за результатами якого обґрунтовано актуальність розробки такої техніки в інтересах вітчизняних організацій, які проводять виробничу діяльність на морі.

2. На основі аналізу сучасних підходів до проектування засобів морської техніки і, зокрема, самохідних прив'язних підводних апаратів і систем, встановлено, що перспективним напрямком їх вдосконалення з метою підвищення конкурентоздатності на вітчизняному і світовому ринках є залучення системного підходу, який забезпечує комплексне врахування всіх значущих факторів об'єкта проектування в реальних умовах експлуатації, а також використання рівнянь існування СППС, які формалізують процеси проектування та аналізу ефективності проектних рішень.

3. У результаті огляду та аналізу прикладних завдань проектування СППС, які розв'язуються вітчизняними та зарубіжними науковцями, встановлено, що найбільш складними та науково місткими є завдання вивчення властивостей проєктованих СППС в усталених (квазістаціонарних) та динамічних режимах з обов'язковим багатоваріантним аналізом силової взаємодії твердих тіл (судна-носія та підводного апарата) та гнучких тіл (кабель-тросу) у потоці води. Обґрунтовано застосування для

розв'язку такого завдання математичних моделей силової взаємодії таких тіл, створених науковою школою «Підводна техніка» НУК.

4. На основі застосування системного підходу синтезовано систему рівнянь існування самохідної прив'язної підводної системи як об'єкта проектування, яка дає змогу вже на ранніх стадіях розробки кількісно оцінювати відповідність проектних рішень вимогам технічного завдання за конструктивним, енергетичним, інформаційним та функціональним критеріями, що зменшує витрати проектних ресурсів на технічне і робоче проектування.

5. У результаті аналізу режимів роботи реальної суднової самохідної прив'язної підводної системи отримано аналітичні залежності для визначення окремих складових рівнянь її існування як аналітичне підґрунтя для створення методики її проектування. Як теоретичне узагальнення принципів системного підходу отримано матрицю базових рішень щодо конструктивних параметрів, експлуатаційних, енергетичних та інформаційних характеристик основних складових самохідної прив'язної підводної системи, яка утворює теоретичне підґрунтя для удосконалення методики проектування таких систем на ранніх стадіях їх розробки.

6. На основі концепції проектування самохідної прив'язної підводної системи, яка ґрунтується на послідовності «підводна місія – підводна технологія – підводна робота», удосконалено методику проектування самохідних прив'язних підводних систем як послідовне виконання постановочної, креативної та інженерної фаз шляхом використання рівнянь існування за конструктивним, енергетичним, інформаційним та функціональним критеріями, що дає змогу оцінювати ефективність проектних рішень вже на ранніх стадіях їх розробки.

7. На прикладі проектування безекіпажної самохідної прив'язної підводної системи суднового базування показано ефективність застосування рівнянь існування за енергетичним та інформаційним критеріями, застосування яких дає змогу оцінювати проектні рішення з урахуванням взаємних зв'язків між її експлуатаційними параметрами та конструктивними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блинцов В. С., Магула В. Э. Проектирование самоходных привязных подводных систем. Киев: Наукова думка, 1997. 140 с.
2. Блинцов В. С. Привязные подводные системы. Киев: Наукова думка, 1998. 230 с.
3. Иконников И. Б. Самоходные необитаемые подводные аппараты. Л.: Судостроение, 1986. 264 с.
4. Ракитин И. Я. Подводные робототехнические системы для исследований океана. М.: НИП «Море», 2002. 191 с.
5. Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. М.: МОРКНИГА, 2015. 506 с.
6. Сиденко К. С., Голобоков С. А. Защита портов и одиночных судов с помощью необитаемых подводных аппаратов. *Морской флот*. М., 2008. № 5. С. 28–30.
7. Сиденко К. С., Лаптев К. З., Илларионов Г. Ю. Управляемые по кабелю необитаемые подводные аппараты для поиска и уничтожения мин. *Двойные технологии*. 2009. № 3(48). С. 17–27.
8. Илларионов Г. Ю., Сиденко К. С., Сидоренков В. В. Подводные роботы в минной войне: монография. Калининград: ОАО «Янтарный сказ», 2008. 116 с.
9. 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>.
10. Доктрина Військово-Морських Сил Збройних Сил України. ВКП 7(3)-00(13).01. Затверджена Головнокомандувачем Збройних Сил України 19.01.2021 р.
11. Шостак В. П. Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы. Чикаго: Мегатрон, 2011. 134 с.
12. Gianluca Antonelli. Underwater Robots. Fourth Edition. Springer International Publishing Switzerland, 2014. 350 papers.

13. Пышнев С., Чангли Ю. Проектирование подводных носителей технологического оборудования с использованием функциональных модулей. Вена: Premier Publishing s.r.o. 2019. 172 с.

14. Thomas Glotzbach. Navigation of Autonomous Marine Robots. Novel Approaches Using Cooperating Teams. Springer. Fachmedien Wiesbaden GmbH, part of Springer Nature, 2020. 366 pages.

15. Frank Kirchner, Sirko Straube, Daniel Kühn, Nina Hoyer. AI Technology for Underwater Robots. Springer Nature Switzerland AG, 2020. 193 pages.

16. Remotely Operated Vehicles (ROV) and Autonomous Underwater Vehicles (AUV) in the Energy Market 2011–2021. *Offshore Energy*. 2011. <https://www.offshore-energy.biz/remotely-operated-vehicles-and-autonomous-underwater-vehicles-energy-market-report-2011-2021-released/>.

17. Матеріали Першої Міжнародної конференції з морської безпеки. Київ, 28 листопада 2017 року.

18. Необитаемые подводные аппараты / А. П. Юрнев, А. В. Сытин, Б. П. Бичаев и др.; под общ. ред. А. В. Сытина. М.: Воениздат, 1975. 159 с.

19. Блінцов В. С., Буруніна Ж. Ю., Войтасик А. М., Клочков О. П., Надточій В. А., Сірівчук А. С. Сучасні задачі створення безпечних морських апаратів і систем оборонного призначення. *Збірник наукових праць НУК*. 2017. № 5. С. 56–69.

20. Блінцов В. С., Клочков О. П., Куценко П. С. Класифікаційні ознаки ненаселених прив'язних підводних систем: системний підхід. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції: в 2 ч.* Миколаїв: НУК, 2020. Ч. 1. С. 168–175.

21. ROV Tether. <https://videoray.com/products/accessories/rov-tether>.

22. Szymak P., Małecki J. Control System of Underwater Vehicle Based on Artificial Intelligence Methods. *Automation and Robotics*, 2008. P. 285–296.

23. 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. P. 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.338>.

24. Michael S. Triantafyllou Franz S. Hover. Maneuvering and Control of Marine Vehicles. Department of Ocean Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts USA, 2003. 145 p.

25. Girgin S. A Design Project of a Remotelyoperated Underwater Vehicle. A Thesis Submitted to the Faculty of Engineering of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for Degree of Bachelor of Science in Mechanical Engineering, İZMİR, 2013.

26. García-Valdovinos L. G., Salgado-Jiménez T., Bandala-Sánchez M., Nava-Balazar L., Hernández-Alvarado R., José Antonio Cruz-Ledesma J. A. Modelling, Design and Robust Control of a Remotely Operated Underwater Vehicle. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.5772/56810>.

27. Roslan, I. S., Muhamad Said, M. F., Abu Bakar, S. A. Conceptual Design of Remotely Operated Underwater Vehicle. *Journal of Transport System Engineering*. 1:2 (2015), 15-19. file:///C:/Users/volodymyr.blintsov/Downloads/34-40-1-PB.pdf.

28. Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen. Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication. Publisher: Marine Advanced Technology Edu; 1st edition, 2010. 770 pages.

29. Рижков С. С., Блінцов В. С., Єгоров Г. В., Жуков Ю. Д., Квасницький В. Ф., Кошкін К. В., Кривцун І. В., Некрасов В. О., Севрюков В. В., Солоніченко Ю. В. Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки: монографія / за ред. С. С. Рижкова. Миколаїв: Видавництво НУК, 2011. 340 с.

30. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.H. Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition. Springer, 2006. <https://www.amazon.co.uk/Engineering-Design-Systematic-Approach-Pahl/dp/1846283183>.

31. Certification and Classification of Unmanned Submersibles. Unmanned Submersibles (ROV, AUV) and Underwater Working Machines. Germanishcer Lloyd, 2009. [39(2009)].

32. Rahimuddin (2017) *Design of Omni directional remotely operated vehicle*. International Conference on Nuclear Technologies and Sciences (ICoNETS 2017). doi:10.1088/1742-6596/962/1/012017.
33. Joochim C., Phadungthin R., Srikitsuwan S. Design and development of a Remotely Operated Underwater Vehicle. 16th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM), 2015. https://www.researchgate.net/publication/304294080_Design_and_development_of_a_Remotely_Operated_Underwater_Vehicle.
34. The National Strategy for Maritime Security: [Electronic Resource] / The Department of Defense and Homeland Security. 2005. 27 p. Mode of access: URL: http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/HSPD13_Maritime_Security_Strategy.pdf. –Title from the screen.
35. Слижевский Н. Б., Король Ю. М., Соколик М. Г. Гидродинамический расчёт самоходных подводных аппаратов: учебное пособие. Николаев: УГМТУ, 2000. 93 с.
36. Пантов Е. Н., Махин Н. Н., Шереметов Б. Б. Основы теории движения подводных аппаратов. Л.: Судостроение, 1973. 216 с.
37. Fossen T.I. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. Norway: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 596 p. doi: 10.1002/9781119994138 (Дата звернення 16.04.2020).
38. Rowinski L. Pojazdy glebinowe. Budowa i wyposazenie. Gdansk: Przedsiębiorstwo Prywatne «WiB», 2008. 593 p.
39. Вашедченко А. Н., Иванишин Б. П., Цыбенко Б. А. Уравнения существования подводных роботов. *Сб. научных трудов*. Николаев, НКИ, 1979. С. 17–24.
40. Вашедченко А. Н. Теория проектирования судов: уч. пособие. Николаев, НКИ, 1979. Ч. II. 58 с.
41. Вашедченко А. Н. Определение главных элементов подводного аппарата: учебное пособие. Николаев, НКИ, 1991. 65 с.
42. Дмитриев А. Н. Проектирование подводных аппаратов: учебник. Л.: Судостроение, 1978. 235 с.
43. Alireza M. Design, construction and control of a remotely operated vehicle. Proceedings of the ASME 2011 international mechanical engineering congress & exposition, 1-10, 2011. https://www.newhaven.edu/_resources/documents/academics/surf/past-projects/2013/tristan-cowan-paper.pdf.

44. Блінцов О. В. Розвиток теорії автоматичного керування рухом підводних комплексів з гнучкими зв'язками. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 «Системи та процеси керування». Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2017.

45. 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 p. <https://doi.org/10.1080/20464177.2012.11020265>.

46. Dudykevych, V., Oleksandr, B. Tasks statement for modern automatic control theory of underwater complexes with flexible tethers. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2016. 25–36 p. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2016.00158>.

47. Блінцов О. В., Надточій В. А. Системи автоматичного керування рухом підводних комплексів з гнучкими зв'язками: навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2018. – 251 с.

48. Безверхий О., Корнієнко В. Дослідження впливу нелінійно-пружних характеристик матеріалу на динаміку підводних тросових систем. *Підводні технології*. 2015. Вип. 02. С. 59–65.

49. Костенко Д. В. 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. 2003.

50. Нужный С. Н. Особенности проектирования кабель-тросов для малогабаритных самоходных привязных подводных аппаратов. *Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник «Електромашинобудування та електрообладнання»*. Одеса. 1998. Вип. 51. С. 99–103.

51. Блінцов С. В. Теоретичні основи автоматичного керування автономними підводними апаратами. Миколаїв: НУК, 2014. 222 с.

52. Надточій В. А. Автоматизація керування самохідними прив'язними підводними системами з начіпним обладнанням.

Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 «Системи та процеси керування». Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2015.

53. Azmi M. W. N., Aras M. S. M., Zambri M. K. M, Harun M. H. Comparison of Controllers Design Performance for Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) Depth Control. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7. P. 419–423.

54. Блінцов В. С., Блінцов О. В., Надточій В. А. Протимінні прив'язні підводні апарати і системи: монографія. Миколаїв: НУК, 2015. 108 с.

55. Блінцов В. С., Блінцов О. В., Бабкін Г. В., Грицаєнко М. Г. Створення та застосування засобів морської робототехніки для знешкодження підводних потенційно небезпечних об'єктів: монографія / за заг. ред. проф. В. С. Блінцова, Миколаїв: НУК, 2016. 366 с.

56. Егер С. М., Мишин В. Ф., Лисейцев Н. К. Проектирование самолётов: учебник для вузов / под ред. С. М. Егера. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 616 с.

57. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Теорія технічних систем. К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 291 с.

58. Joseph Devine. Project Management – A Systemic Approach. URL: http://pdf2.hegoa.efaber.net/entry/content/966/Project_Management_-_A_Systemic_Approach.pdf.

59. Voloshena N. G. The application of system approach in management the activities of the enterprise. *Молодий вчений*. 2015. № 11(26). <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2015/11/109.pdf>.

60. Блінцов В. С., Костенко Д. В., Трибулькевич В. В., Соколов В. В. Сучасні завдання створення багатоцільового морського безпілотного комплексу. *Зб. наук. праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2017. № 2. С. 20–27.

61. Ендогур А. И. Проектирование авиационных конструкций. Проектирование конструкций деталей и узлов: учебное пособие. М.: Издательство МАИ-ПРИНТ, 2009. 540 с.: ил.

62. Вашедченко А. Н. Автоматизированное проектирование судов. Л.: Судостроение, 1985. 164 с.

63. Справочник по теории корабля: в 3-х т. / под ред. Я. И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. Т. 1. 768 с.

64. Guerra J., Heinevetter R., Tristan M., Killian P., Waschura A. Proteus: Mini underwater remotely operated vehicle. Santa Clara University. Thesis, 2014. 115 p. https://www.researchgate.net/publication/274698477-Proteus_Mini_Underwater_Remotely_Operated_Vehicle_ROV_Mechanical_Engineering_Thesis.

65. Блінцов В. С., Киризиук О. М. Моделюючий комплекс для дослідження технологій моніторингу акваторій з застосуванням самохідного прив'язного підводного робота. *Зб. наук. праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2008. № 6(423). С. 130–136.

66. Robert D. Christ, Robert L. Wernli. The Rov Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles. Butterworth-Heinemann, 2007. 308 p.

67. Блінцов О. В. Автоматичне керування підводними комплексами з гнучкими зв'язками: монографія. Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2017. 356 с.

68. Gwyn Griffiths. Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles. CRC Press, 2002. 368 p.

69. Volodymyr S. Blintsov, Maksym H. Hrytsaienko. Special features of management of the joint projects of water zone clearing by subdivisions of the state emergency service of Ukraine and organizations developing marine robotic vehicles. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*. 2017. № 1(7). P. 141–151.

70. Боргезе Ю., Беккер К. Подводные диверсанты во Второй мировой войне. М.: АСТ, 2002. 640 с.

71. Блінцов В. С., Клочков О. П. Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення. *Журнал «Підводні технології»*. Київ: КНУБА, 2016. № 3. С. 25–30.

72. Безверхий О. Динаміка підводних розгалужених тросових систем. *Підводні технології*. 2015. Вип. 01. С. 50–58.

73. Клочков О. П. Оцінка можливості створення самохідної прив'язної підводної системи на основі рівнянь існування. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці*: матеріали VII міжнарод-

ної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, 2016. С. 352–354.

74. Блінцов В. С., Клочков О. П. Проектні задачі створення безкіпажного самохідного прив'язного підводного комплексу на основі системного підходу. *Науковий журнал «Науковий вісник Херсонської державної морської академії»*. 2018. № 2(19). С. 4–13.

75. 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.

76. Yasser M. (2014). Design of a new low cost ROV vehicle. *Jurnal Teknologi: Sciences & Engineering*, 69(7), 27–32. doi: 10.11113/jt.v69.3262.

77. Клочков О. П. Загальний підхід до синтезу рівнянь існування прив'язних підводних апаратів корабельного базування. *Збірник наукових праць НУК*. 2016. № 5(467). С. 5–10.

78. Хаукс Г. Подводная техника / пер. с англ. Л.: Судостроение, 1979. 288 с.

79. Грейнер Л. Гидродинамика и энергетика подводных аппаратов / пер. с англ. Л.: Судостроение, 1978, 384 с.

80. Ястребов В. С., Горлов А. А., Симинский В. В. Электроэнергетические установки подводных аппаратов. Л.: Судостроение, 1986. 208 с., ил.

81. ГОСТ 29322-92. Стандартные напряжения. 8 с.

82. Филоженко А. Ю. Система электроснабжения привязных необитаемых подводных объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 19.11.2010. Владивосток: ДВГТУ, 2010. 20 с.

83. Ястребов В. С., Соболев Г. П., Смирнов А. В. Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований: справочник. Л.: Судостроение, 1981. 304 с.

84. Milne P. H. Underwater Engineering Surveys. Gulf Publishing Company, 1980. 366 p.

85. Oscar A. Design and construction of an ROV for underwater exploration sensors. 2019, P. 1–25. doi:10.3390/s19245387.

86. Клочков О. П. Системний підхід у проектуванні засобів морської робототехніки корабельного базування. *Підводна тех-*

ніка і технологія: матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю: в 2 ч. Миколаїв: НУК, 2017. Ч. 2. С. 58–73.

87. Блінцов В. С., Клочков О. П. Удосконалення методики проектування протимінної прив'язної підводної системи на основі рівнянь існування за інформаційною та функціональною складовими. *Збірник наукових праць НУК*. 2019. № 5(479). С. 26–35.

88. Сухова, А. Системы безопасности объектов на акваториях. *Морской флот*. М., 2007. № 5. С. 49–53.

89. Bharat K. (2017) Design and fabrication of a low cost submersible ROV for survey of lakes. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 718–724. <https://www.irjet.net/archives/V4/i9/IRJET-V4I9125.pdf>.

90. Lien B. Design Your Own Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV). *Technology Teacher*, 2009. Volume 68. P. 22–25. <https://eric.ed.gov/?id=EJ838392>.

91. ROV Program – Team Manual Underwater Robotics for High School Students. *Eastern Edge Robotics*. 2010. 63 p. <https://www.marinetech.org/files/marine/files/Curriculum/Other%20Curriculum%20Resources/MIROV2MANUAL.pdf>.

92. Harsh S., Vignesh P. Design, Fabrication & Testing of Underwater Remotely Operated Vehicle. LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 72 p. <https://www.amazon.in/Fabrication-Testing-Underwater-Remotely-Operated/dp/3659314099>.

93. Bernier M., Foley R. T., Rioux P., Stech A. Latis II Underwater Remotely Operated Vehicle Technical Report. The University of Maine, 2010. 20 p. http://www.mickpeterson.org/Classes/Design/2009_10/Projects/Website-ROV-Amy/UMaine%20ROV%20Final%20Report.pdf.

94. Niklas Luhmann. Introduction to Systems Theory. Polity, 2012. 300 p. <https://www.amazon.com/Introduction-Systems-Theory-Niklas-Luhmann/dp/0745645720>.

95. Blintsov V. S., Klochkov O. P. Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. *Scientific journal «EUREKA: Physics and Engineering»*. 2019. Vol. 2(21). P. 43–51. doi:10.21303/2461-4262.2019.00878.

96. Blanchard Benjamin S., Fabrycky Wolter J. Systems Engineering and Analysis. (Prentice Hall International Series in Industrial & Systems Engineering), 5th Edition. Upper Saddle River, N. J.: Pearson Prentice Hall, 2006.

97. Tristan C. Design Requirements for an ROV for Marine Science Education. https://www.newhaven.edu/_resources/documents/academics/surf/past-projects/2013/tristan-cowan-paper.pdf.

98. Nguyen D. A., Cao Q. H., Nguyen P. H. Research, Design and Control of a Remotely Operated Underwater Vehicle. *5-th World Conference on Applied Sciences, Engineering & Technology*. 2016, HCMUT, Vietnam. <https://pdfs.semanticscholar.org/0974/e8a5b7460ee4009cac1f772b0a66ab3726d4.pdf>.

99. Ramírez J. A., Gutiérrez L. B., Vasquez Rafael E., Flórez D. A. Mechanical/naval design of an underwater remotely operated vehicle (ROV) for surveillance and inspection of port facilities. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2007. Volume 16: Transportation Systems. Seattle, Washington, USA, 2007. https://www.researchgate.net/publication/290923400_Mechanicalnaval_design_of_an_underwater_remotely_operated_vehicle_ROV_for_surveillance_and_inspection_of_port_facilities.

100. Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen. Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication. Publisher: Marine Advanced Technology Edu; 1st edition, 2010. 770 p.

101. Бабкін, Г. В., Блінцов В. С., Дружинін Є. А., Кійко С. Г., Книрик Н. Р, Кошкін К. В., Крицький Д. М., Рижков С. С., Слободян С. О., Фаріонова Т. А. Управління успішними проектами створення складної техніки: монографія. Миколаїв: Видавництво Торубари В. В., 2017. 336 с.

102. Kurt L. Smrcina, John Perry Fish. Remotely Operated Vehicle ROV/AUV AD-A240 672 Reliability Study 1 Hi I' 1111 Phase II Final Report. Office of Naval Research (Code 122) Department of the Navy 800 N. Quincy Street Arlington, VA, 1989. 124 Papers. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a240672.pdf>.

103. George Last, Paul Williams. An introduction to ROV operations. Oilfield Publications Ltd, 1991. 232 p.

104. Gianluca Antonelli. Underwater Robots. Motion and Force Control of Vehicle-Manipulator Systems. Springer, 2006. 265 p.

105. Liu W.D., Li X.Y., Gao L. Design of a Gateway for Remotely Underwater Vehicles. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Volumes 209–211. P. 2138–2141.

106. Templeton J.S.. Offshore Technology in Civil Engineering: Hall of Fame Papers from the Early Years. American Society of Civil Engineers, 2006. 160 p.

107. Ключков О. П. Проектні задачі енергоживлення одноканкових самохідних прив'язних підводних систем. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*. 2019. № 1(11). P. 96–104. DOI [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).11](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).11).

108. Костенко В. В., Мокеева И. Г. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата. *Подводные исследования и робототехника*. 2009. № 1(7). С. 22–27.

109. Блинцов В. С. Современные проблемы создания электрооборудования и автоматики подводных аппаратов. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2007. № 5(24). С. 90–98.

110. Anwar M. O., Mohsin S., Iqbal Z. U., Abideen A. U. Rehman, Ahmed N. Design and fabrication of an underwater remotely operated vehicle (Single thruster configuration). *13th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*. Islamabad, 2016. P. 547–553.

111. Блинцов А. В. Специализированный моделирующий комплекс для исследования эффективности системы управления подводной буксируемой системой. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. 2012. Вип. № 1(442). С. 92–97.

112. Егоров В. И. Подводные буксируемые системы: учебное пособие. Л.: Судостроение, 1981. 304 с.

113. Блинцов В. С. Особенности проектирования кабель-тросов привязных подводных аппаратов. *Проектирование средств освоения океана*. 1991. С. 76–79.

114. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка методик створення і використання в Україні безпечних підводних апа-

ратів. (2017). Миколаїв: НУК. 227 с. Номер державної реєстрації 0116U000004.

115. Marzbanrad Alireza, Eghtesad M., Sharafi Jalil, Kamali R. Design. Construction and Control of a Remotely Operated Vehicle (ROV). Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE-2011. – Colorado, USA. – 10 p. https://www.researchgate.net/publication/262565789_Design_Construction_and_Control_of_a_Remotely_Operated_Vehicle_ROV.

116. Paul Molloy. Smart Materials for Subsea Buoyancy Control. PhD the sis. University of Glasgow. Glasgow Theses Service., 2000. 369 p.

117. 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. P. 40–43.

118. Underwater Robots. Motion and Force Control of Vehicle -Manipulator Systems. Springer, 2006. 265 p.

119. Luis M. Aristizábal, Santiago Rúa, Carlos E. Gaviria, Sandra P. Osorio, Carlos A. Zuluaga , Norha L. Posada & Rafael E. Vásquez. Design of an open source-based control platform for an underwater remotely operated vehicle. *Universidad Nacional de Colombia. DYNA*. 2016. P. 198–205. <https://pdfs.semanticscholar.org/9770/27c0acdb9152e0386c5de858c8b67f8cb633.pdf>.

Додаток А

ХАРАКТЕРИСТИКИ СППА ВИРОБНИЦТВА НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

А.1 Самохідні прив'язні підводні апарати проекту «Дельта»

Самохідні прив'язні підводні апарати призначені для виконання пошукових, обстежувальних та інспекторських підводних робіт.

Склад серії:

- підводний апарат «Дельта-П» – призначений для роботи в полярних умовах;
- підводний апарат «Діаф» – встановлюваний як зовнішнє націпне обладнання на населені підводні апарати;
- підводний апарат «ADELINE» – призначений для реалізації підводних природоохоронних технологій.



а

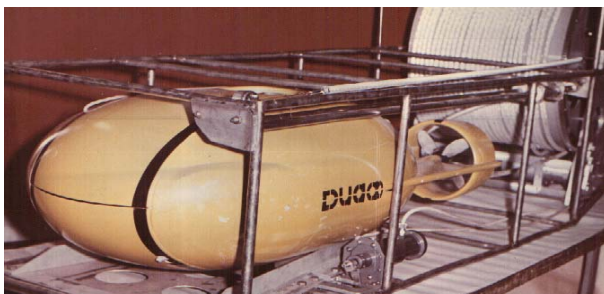


б

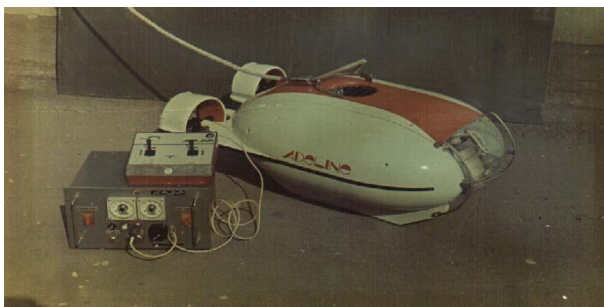
Рисунок А.1.1 – СППА «Дельта-П» під час обстеження причалів арктичного морського порту (а) та підводної частини гідроелектростанції (б)

Технічні характеристики СППА «Дельта-П»

Робоча глибина, м	100	Навігаційне обладнання:	
Швидкість руху		– датчик курсу.....	1
– маршева, м/с	1,0	– датчик глибини	1
– вертикальна, м/с	0,5	Технологічне обладнання:	
Маса, кг	59	– кольорова відеокамера	1
Габаритні розміри, м	95×0,6×0,37	– світильники, Вт	4×150
Споживана потужність, кВт	1,5		



а



б

*Рисунок А.1.2 – Зовнішній вигляд СППА «Діаф» (а)
та СППА «ADELINE» (б)*

Технічні характеристики СППА «Діаф»

Робоча глибина, м	2000	Віддалення від населеного	
Габарити (L×B×H), м ...	0,95×0,60×0,37	підводного апарата, м	60
Маршева швидкість, вуз	1,0	Маса, кг	60
		Споживана потужність, кВт	1,2

Технічні характеристики СППА «ADELINE»

Робоча глибина, м	2000	Віддалення від населеного	
Габарити (L×B×H), м....	0,95×0,60×0,37	підводного апарата, м	60
Маршева швидкість, вуз	1,0	Маса, кг	60
		Споживана потужність, кВт	1,2

A.2 Самохідні прив'язні підводні апарати проекту «Атлеш»

Апарати призначені для виконання пошукових, обстежувальних та інспекторських підводних робіт за напрямками:

- морські нафтогазові споруди (трубопроводи, платформи);
- гідротехнічні споруди (причали, греблі, дамби);
- підводне будівництво та ремонт (прокладання підводних трубопроводів та морських кабельних ліній зв'язку, обстеження донної поверхні);
- аварійно-рятувальні та водолазні роботи (пошук та обстеження аварійних об'єктів, супровід водолазних робіт);
- суднобудування та судноремонт (обстеження корпусів суден перед постановкою док, для пред'явлення міжнародним класифікаційним товариствам);
- екологія та охорона водного середовища (обстеження екологічно небезпечних підводних об'єктів, роботи у зоні екологічних катастроф).

Склад серії:

- СППА «Атлеш» – для роботи на глибині до 300 м;
- СППА «ОПТІО» – для роботи на глибині до 600 м.

Застосування СППА проекту «Атлеш»:

- природоохоронне обстеження очисних споруд приморських міст АР Крим;
- картографування та комплексне приладове обстеження стаціонарних морських платформ та морських трубопроводів великої протяжності, розташованих на Чорному морі;
- обстеження причальних споруд чорноморських морських портів України;
- обстеження підводних частин судів на плаву за завданням Реєстру судноплавства України;

- контроль стану протекторного захисту морських підводних трубопроводів, замір величини електрохімічного потенціалу підводних металоконструкцій.



а



б



в

Рисунок А.2.1 – СППА проекту «Атлеш»

Технічні характеристики СППА проекту «Атлеш»

Робоча глибина, м	300–600	– імпульсний маяк;
Маршева швидкість СППА, вуз	3	– гідроакустична система виявлення
Лагова швидкість, вуз.....	0,6	підводних об'єктів.
Довжина кабель-троса, м	450–800	Технологічне обладнання:
Маса, кг	77	– товщиномір;
Габарити (L×B×H), м	1,26×0,54×0,66	– магнітометр;
Споживана потужність, кВт	6	– кольоровий відеокomплекс;
Навігаційне обладнання:		– датчик вимірювання
– система курсовказівки;		електрохімічного потенціалу;
– датчик гідростатичного тиску;		– три підводні світильники.

СППА проекту «Атлеш» оснащені ефективною системою підводного освітлення та двоступеневим приводом повороту відеокамери на кут до 300 град., що забезпечує високу якість відеообстеження.

А.3 Самохідні прив'язні підводні апарати проекту «Пошук»

Підводні апарати призначені для:

- пошуку затонулих об'єктів відео- і магнітометричними засобами;
- інспекції підводних об'єктів із приладовим контролем їх параметрів;
- обстеження затонулих об'єктів і безводолазного супроводу їх підйому;



а



б



в



г

*Рисунок А.3.1 – Зовнішній вигляд СППА серії «Пошук»:
а – СППА «Агент-1»; б – зовнішній вигляд СППА «Агент-1м»;
в – СППА з автономним джерелом електроенергії (зліва);
г – мобільний пульт керування СППА*

- обстеження протяжних об'єктів (підводних трубопроводів, кабелів зв'язку тощо);
- підводно-технічних робіт з використанням підводних інструментів;
- високоякісного документування процесу й результатів підводно-технічних робіт.



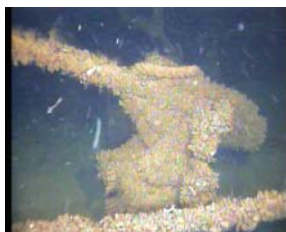
а



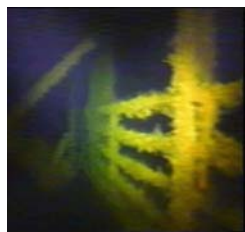
б



в



г



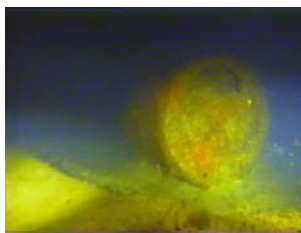
д



е



ж



з

Рисунок А.3.2 – Фрагменти застосування СППА проекту «Пошук»:

- а* – обстеження підводного трубопроводу; *б* – фіксація руйнування елемента катодного захисту підводного трубопроводу;
в – відеосупровід роботи водолаза; *г-е* – обстеження затонулих суден;
ж – пошук та обстеження затонулої ракети-торпеди;
з – пошук та обстеження контейнера з бойовою отруйною речовиною

Склад серії:

- підводний апарат «Агент-1» (2000 р.) – призначений для обстеження підводних трубопроводів;
- підводний апарат «Агент-1м» (2004 р.) – поставлений на озброєння ВМС ЗСУ.

Основні технічні характеристики підводних апаратів серії «Пошук»

Максимальна робоча глибина, м ... 550	Кількість обслуговуючого
Габаритні розміри, мм ... 966×526×605	персоналу, чел. 2
Швидкість маршова, вузлів..... 4	Гідрометеоумови:
Довжина кабель-троса, м 200	– температура води, °С..... –2...+30
Діаметр кабель-троса, мм 15	– температура повітря, °С..... –20...+40
Маса апарата, кг 65	– швидкість вітру, м/с до 10
Електроживлення	– водна поверхня, балів до 3
3х220В, 50 Гц, 2,0 кВт	

A.4 Самохідні прив'язні підводні апарати проекту «The North Star»

СППА призначені для виконання пошукових та інспекційних підводних робіт у складних гідрометеорологічних умовах.

Склад серії:

- СППА «Naf» – для роботи на глибині до 150 м;
- СППА «Nif» – для роботи на глибині до 150 м;
- СППА «Nuf» – для роботи на глибині до 150 м.

Технічні характеристики СППА проекту «The North Star»

Максимальна робоча глибина, м.... 150	Електроживлення
Габаритні розміри, м 1,13×0,62×0,47	3х220В, 50 Гц, 4 кВт
Швидкість маршова, вузлів..... 4	Кількість обслуговуючого
Довжина кабель-троса, м 200	персоналу, чел. 2
Діаметр кабель-троса, мм 15	Гідрометеоумови:
Маса апарата, кг 65	– температура води, °С..... –2...+30
Маса начіпного обладнання	– температура повітря, °С..... –20...+40
та інструменту, кг 7	– швидкість вітру, м/с до 12
	– водна поверхня, балів..... до 4



а



б



в

*Рисунок А.4 – Зовнішній вид СППА проекту «The North Star»:
а – в лабораторії; б – перед виконанням робіт під кригою;
в – спуск на воду*

А.5 Самохідні прив'язні підводні апарати проекту «Інспектор»

Самохідні прив'язні підводні апарати призначені для:

- пошуку та обстеження затонулих предметів відео-, гідро-акустичними та магнітометричними приладами;
- виконання нескладних підводно-технічних робіт з використанням підводних маніпуляторів;
- високоякісного документування процесу та результатів підводних робіт.

Склад серії:

- підводний апарат «Інспектор» – призначений для виконання пошукових та інспекційних підводних робіт;

- підводний апарат «Чорномор» – призначений для навчально-тренувальних занять з підготовки операторів СППА;
- підводний апарат «Софокл» – призначений для виконання підводних археологічних досліджень.

Основні характеристики підводних апаратів проекту «Інспектор»

Максимальна робоча глибина, м.....150	Кількість членів екіпажу, чел. 2
Габаритні розміри, мм ...966×600×450	Гідрометеоумови:
Швидкість маршева, вузлів 2	– температура води, °С..... 0...+30
Довжина кабель-троса, м до 500	– температура повітря, °С..... –20...+40
Маса апарату, кг 535	– вітер, м/сдо 10
Електроживлення	– водна поверхня, балів.....до 3
3х220 В, 50 (60) Гц, 2,5 кВт	



а



б



в



г



д

Рисунок А.5.1 – Зовнішній вигляд СППА проекту «Інспектор»:

а – СППА «Інспектор»; б – СППА «Чорномор»; в – СППА «Софокл»;

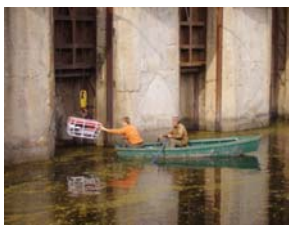
г – типовий склад обладнання

(СППА, кабель-трос, джерело живлення та джойстик керування);

д – джойстик керування з портативним дисплеєм



а



б



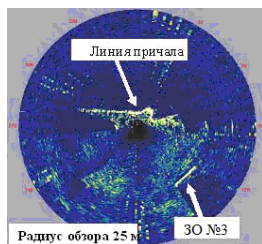
в



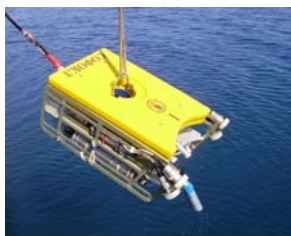
г



д



е



ж



з



і

*Рисунок А.5.2 – Фрагменти застосування СППА проекту «Інспектор»:
 а – обстеження підводної частини насосної станції;
 б – спуск СППА «Інспектор»; в – виявлене пошкодження шандори станції;
 г – пояснення Президенту України Віктору Ющенко;
 д – групове застосування СППА «Інспектор» і «Софокл»;
 е – екран гідролокатора СППА з виявленими об'єктами;
 ж – СППА «Софокл» перед зануренням; з – артефакти бойової галерії
 часів Візантійської імперії; і – перший в історії вітчизняної археології
 роботизований підйом артефакта маніпулятором СППА «Софокл»*

А.6 Дволанковий підводно-технічний комплекс «МТК-200»

Комплекс призначений для:

- пошуку затонулих об'єктів відео- та магнітометричними засобами;
- інспекції підводних об'єктів із приладовим контролем їх параметрів;
- обстеження затонулих об'єктів, підготовки та супроводу їх підйому;
- обстеження протяжних підводних об'єктів (підводних трубопроводів, кабелів зв'язку);
- підводно-технічних робіт з використанням маніпуляторів та підводних інструментів;
- високоякісного документування процесу та результатів підводно-технічних робіт.

Склад комплексу:

- робочий самохідний прив'язний підводний апарат МТК-200, оснащений двома маніпуляторами з 7 ступенями свободи та 5 відеокамерами;
- малогабаритний інспекційний самохідний прив'язний підводний апарат «Агент-1м» з комплектом начіпних приладів та інструментів;
- судновий пост енергетики та керування, обладнаний для високоякісного висвітлення підводної обстановки та документування результатів підводних робіт із використанням сучасних інформаційних технологій.

Основні характеристики комплексу «МТК-200»

Макс. глибина занурення, м.....	550	Електроживлення	
Габаритні розміри, мм ...	966×526×605		3×220 в, 50 гГц, 40,0 кВт
Швидкість ходу (max), вузлів.....	4	Кількість членів екіпажу, чол.....	4
Довжина КТ МТК-200, м.....	1000	Гідрометеоумови:	
Довжина КТ «Агент-1м», мм.....	60/200	– температура води, °С.....	0...+30
Маса МТК-200, кг.....	2500	– температура повітря, °С.....	–20...+40
Маса «Агент-1м», кг.....	65	– швидкість вітру, м/с.....	до 10
		– водна поверхня, балів.....	до 3



а



б



в

*Рисунок А.6 – Дволанковий підводно-технічний комплекс МТК-200:
а – робочий СППА «МТК-200»; б – інспекційний СППА «Агент-1м»;
в – судновий пост енергетики і керування комплексом «МТК-200»*

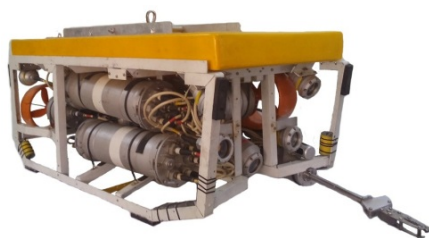
А.7 Самохідний прив'язний підводний апарат проекту «Гідрограф»

Підводний апарат призначений для:

- пошуку, ідентифікації, обстеження підводних об'єктів відео-, гідроакустичними та магнітометричними засобами;
- приладової інспекції підводних об'єктів зовнішніми вимірювальними приладами;
- виконання підводно-технічних робіт за маніпулятора та різака тросів;
- високоякісного документування процесу та результатів підводної роботи з GPS-прив'язкою координат.

Основні характеристики підводного апарату проекту «Гідрограф»

Максимальна робоча глибина, м ... 250	Кількість членів екіпажу, чол. 2
Габаритні розміри, мм 1220×600×540	Комплектація зовнішнім обладнанням... (маніпулятор, сонар)
Швидкість маршева, вузлів..... 2	Гідрометеоумови:
Довжина кабель-троса, м до 400	– температура води, °С 0...+30
Маса апарату, кг 97	– температура повітря, °С –20...+40
Електроживлення 220 В, 50Гц, 3,0 кВт	– швидкість вітру, м/с до 10
	– водна поверхня, балів до 3



а



б



в



г



д



е

Рисунок А.7 – СППА проекту «Гідрограф»:

а – зовнішній вигляд; *б, в* – випробування в басейні та у відкритому морі;
г – занурення під кригу; *д* – обстеження тріщини в корпусі затонулого судна; *е* – обстеження затонулих артилерійських снарядів

А.8 Самохідна прив'язна підводна система проекту «КНПА»

Самохідна прив'язна підводна система призначена для:

- пошуку та інспекції затонулих об'єктів відео-, гідроакустичними та магнітометричними приладами;

- виконання підводно-технічних робіт з використанням підводних маніпуляторів та різаків;
- доставки корисних вантажів у задану точку морського дна;
- високоякісного документування процесу та результатів підводних робіт.

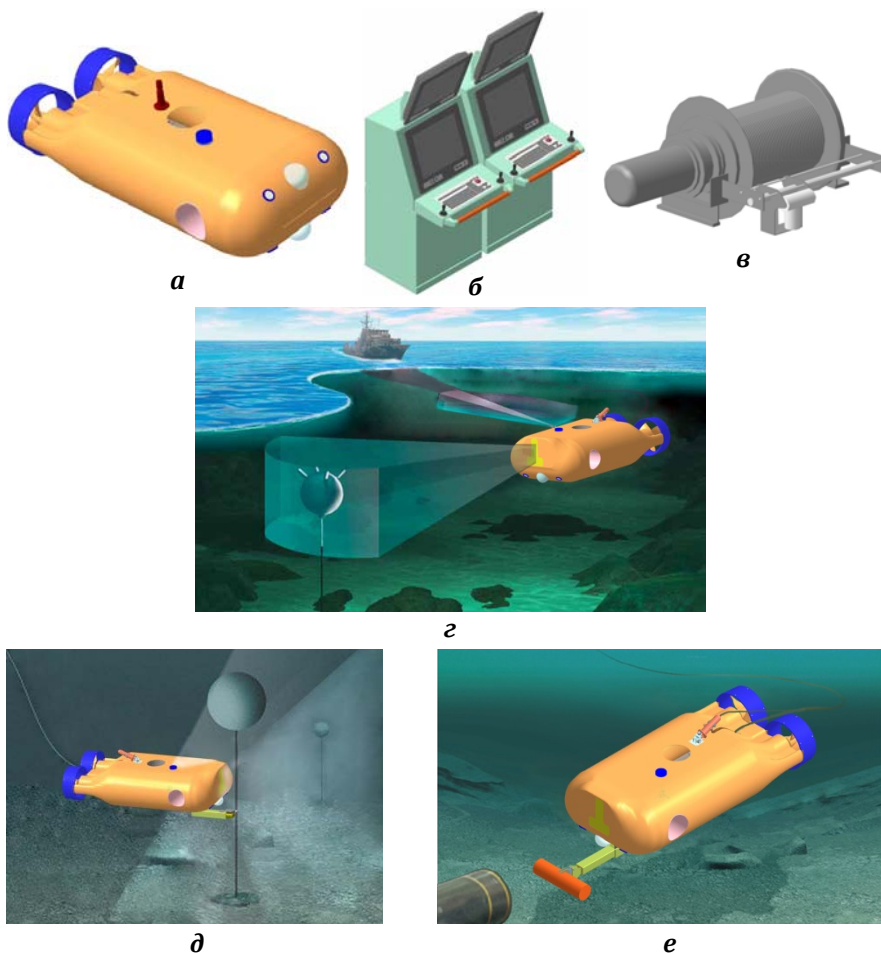


Рисунок А.8 – СППС проекту «КНПА»: а – 3D-модель СППА; б – судновий пост енергетики і керування; в – лебідка кабель-тросу; г–е – схеми застосування СППС в задачах гуманітарного розмінування акваторій

Основні характеристики підводного апарату проекту «КНПА»

Робоча глибина, м	200	Кількість членів екіпажу, чел.....	2
Габаритні розміри, м	2,2×1,1×6,4	Гідрометеоумови:	
Швидкість маршева, вузлів.....	6	– температура води, °С.....	0...+30
Довжина кабель-троса, м	до 550	– температура повітря, °С.....	–20...+40
Маса апарату, кг	350	– швидкість вітру, м/с	до 10
Електроживлення		– водна поверхня, балів.....	до 3
	3х380 В, 50 Гц, 27,5 кВт		

Наукове видання

**ПРОЄКТУВАННЯ ЗАСОБІВ
МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ
НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ**

Монографія

*За редакцією доктора технічних наук,
професора В. С. Блінцова*

У трьох частинах

Частина 1

САМОХІДНІ ПРИВ'ЯЗНІ ПІДВОДНІ СИСТЕМИ

Формат 60×84¹/16. Ум. друк. арк. 9,5. Тираж 300 пр. Зам. № 524-677.

ВИДАВЕЦЬ І ВИГОТОВЛЮВАЧ

Товариство з обмеженою відповідальністю фірма «Іліон».

54038, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1.

Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 1506 від 25.09.2003 р.