

КЛАСИФІКАЦІЙНІ ОЗНАКИ НЕНАСЕЛЕНИХ ПРИВ'ЯЗНИХ ПІДВОДНИХ СИСТЕМ ЯК СКЛАДОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ПРОЄКТУВАННЯ

Блінцов В. С., д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв), e-mail: volodymyr.blintsov@nuos.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3912-2174;

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

Куценко П. С., молодший науковий співробітник Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв), e-mail: arcadia.blacksea@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0576-0503

Стадія проєктування є досить ресурсомісткою у загальному процесі створення засобів морської робототехніки. Тому актуальною є прикладна наукова задача зниження ресурсних витрат таких процесів, зокрема й завдяки скороченню витрат часу на виконання проєктних робіт шляхом визначення проєктних характеристик уже на ранніх стадіях проєктування.

Запропонований підхід до зниження таких витрат передбачає структурування класифікаційних ознак прив'язаних підводних систем таким чином, щоб максимально спростити вибір та обґрунтування проєктних рішень на стадії ескізного проєктування. Для проєктувальників підводної техніки запропоновано перелік класифікаційних ознак прив'язаних самохідних і буксируваних підводних систем, який ґрунтується на системному підході і структурований відповідно до матеріальних, енергетичних, інформаційних та експлуатаційних (функціональних) критеріїв. Це дає змогу виконувати порівняльну оцінку наявних систем за ключовими показниками та формалізувати процеси їх синтезу на ранніх стадіях проєктування.

Для демонстрації можливостей системного підходу розроблено узагальнений алгоритм організації проєктних робіт із застосуванням запропонованої системи класифікаційних ознак прив'язаних самохідних і буксируваних підводних систем на ранніх стадіях їх проєктування. Алгоритм передбачає формування та структурування множини класифікаційних ознак таких систем як первинний етап процесу прийняття ефективних конструкторських рішень на ранніх стадіях проєктування засобів підводної робототехніки.

Показано, що використання запропонованих класифікаційних ознак дає змогу з мінімальними витратами проєктних ресурсів звернутися до відповідних баз даних і вибрати раніше створені артефактні проєкти та обрати доступні на ринку підводної техніки вузли і деталі підводних систем, які задовольняють вимоги технічного завдання на створення прив'язаних підводних систем. Це суттєво знижує собівартість проєктних робіт і підвищує конкурентоздатність вітчизняних наукоємних розробок на ринках морської робототехніки.

Ключові слова: прив'язна підводна система, проєктування, системний підхід, класифікаційні ознаки.

DOI: 10.33815/2313-4763.2020.1.22.086-098

Постановка задачі у загальному вигляді. Прив'язні підводні системи (ППС, самохідні – СППС та буксировані – БПС) належать до високоефективних засобів морської робототехніки і широко використовуються у морській практиці. Проєктування та побудова ППС належать до актуальних та наукоємних прикладних завдань вітчизняного морського приладобудування [1].

До складу типової ППС входять: прив'язний самохідний (СППА, в англійській літературі – remotely operated vehicle) чи буксирований (БПА, towed underwater vehicle) підводний апарат, який за допомогою кабель-троса (КТ, tether cable) чи, відповідно, кабель-буксира (КБ, towed cable) з'єднаний з постом енергетики та керування (ПЕК, power control system), який розміщується на населеному чи безекіпажному надводному судні-носії (СН). Зазначимо, що ПЕК забезпечує керування ППС в усіх режимах його просторового руху та в усіх технологічних режимах за призначенням.

Опускання СППА на воду (початкова фаза підводної роботи) та його підйом на палубу СН (завершальна фаза підводної роботи) виконуються за допомогою судового спуско-піднімального пристрою (СПП, в англійській літературі – cargo device). Для

зберігання КТ у міжопераційний період та для керованої зміни довжини його попушеної частини під час виконання підводних робіт на СН розміщують також кабельну лебідку (КЛ, в англійській літературі – cable winch), рис. 1.

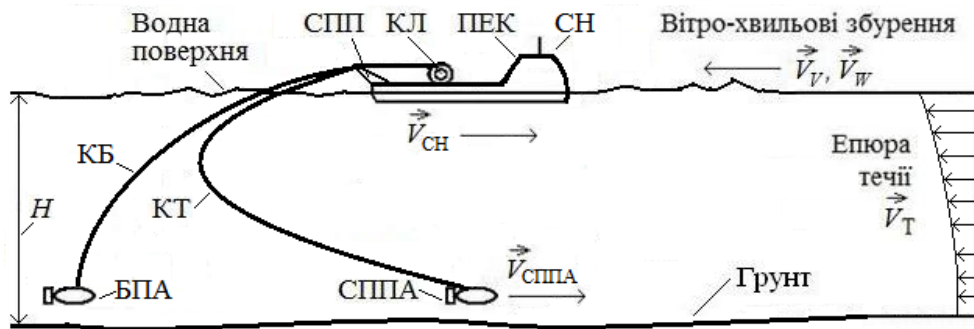


Рисунок 1 – Склад обладнання типового СППК

Сучасні вимоги до створення засобів морської робототехніки вимагають скорочення загальних термінів їх створення і, одночасно, забезпечення їх високих експлуатаційних характеристик. Це зумовлено необхідністю забезпечення високої конкурентоспроможності створюваної техніки як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках морської техніки [2].

Одним з перспективних шляхів забезпечення зростаючих вимог ринку є скорочення витрат часу на проектування ППС, зокрема, пошук ефективних проектних рішень уже на ранніх стадіях проектування – дослідницького та ескізного проектування. Останні дослідження, виконані у цьому напрямі, свідчать, що теоретичною основою для пошуку таких рішень може бути системний підхід, характерною особливістю якого є структуризація проектних завдань за чотирма основними напрямками, що оцінюються за матеріальними, енергетичними, інформаційними та експлуатаційними (функціональними) критеріями [3]. Це дає змогу суттєво зменшити витрати ресурсів (часу, вартості тощо) шляхом отримання прийнятних з позицій технічного завдання (ТЗ) проектних рішень уже на ранніх стадіях проектування.

Структуризація проектних завдань з метою застосування вказаних критеріїв системного підходу може бути виконана на основі характерних класифікаційних ознак ППС, що суттєво б спростило як пошук артефактних (раніше вже створених і реалізованих) проектних рішень окремих складових ППС, так і розробку нових проектно-конструкторських рішень на основі застосування сучасних наукових результатів.

Отже, уточнення класифікаційних ознак ППС з метою їх максимального наближення до вимог проектної практики є актуальним прикладним науковим завданням, успішний розв'язок якого має підвищити загальну ефективність процесів проектування ППС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з тим, що засоби морської робототехніки взагалі, і ППС зокрема, відносяться до надзвичайно активно розроблюваних практично усіма морськими країнами світу, питання їх класифікації відповідно не усталені. Однак можна констатувати, що за деякими ознаками така класифікація вже носить усталений характер.

Так, згідно з усталеною міжнародною практикою [4, 5] за класифікаційними ознаками підводні апарати, у цілому, і підводні апарати для ППС зокрема, поділяються на:

- населені (manned, *M*) і ненаселені (unmanned, *U*);
- автономні (free, *F*) прив'язні (tethered, *T*);
- плаваючі (suspended, *S*) і донні (bottomed, *B*);
- самохідні (propelled, *P*) і несамохідні (inert, *I*).

Крім того, сучасні ППС можуть бути виконані за комбінованою схемою побудови (класифікаційна ознака – combined, *C*), коли до їх складу можуть входити ненаселені самохідні підводні апарати, що на певних етапах підводної місії можуть буксируватися.

У вітчизняній практиці класифікація ППС виконується також за ознаками

призначення та структури просторової конфігурації ППС, а також за робочою глибиною застосування [6].

За призначенням П БПС поділяють на:

- пошукові $P_{п}$, призначені для пошуку затонулих об'єктів – суден, авіа- та космічної техніки тощо;
- геологорозвідувальні $P_{г}$, призначені для пошуку корисних копалин на шельфі;
- рибпромислові $P_{р}$, призначені для виявлення промислово значимих рибних запасів та їх вилову за допомогою тралів;
- науково-дослідницькі $P_{н}$, призначені для вивчення Світового океану (дослідження процесів розвитку іхтіофлори та іхтіофауни, донних відкладень), вирішення задач підводної археології та екології моря;
- воєнні $P_{в}$, призначені для пошуку, класифікації та знищення морських мін тощо.

За структурою просторової конфігурації С БПС поділяються на:

- одноланкові $C_{о}$, які містять один СППА або БПА; такі ППС є найбільш поширеними через їхню простоту побудови й експлуатації;
- багатоланкові $C_{б}$, до складу яких входять декілька СППА чи БПА або буксируваних пошукових приладів (БПП).

До багатоланкових ППС з підвищеними показниками продуктивності відноситься також новий тип БПС зі змінною кількістю ланок; такі системи мають у своєму складі буксируваний привантажувач (П) і приєднаний до нього за допомогою кабель-буксира (КБ2) та дистанційно керованого замкового пристрою (З) СППА і дають змогу на великій швидкості буксирування обстежувати значні площі донної поверхні за допомогою пошукових приладів (корисного вантажу КВ на борту буксируваного СППА), а при виявленні підводної цілі детально обстежувати її шляхом тимчасового від'єднання СППА від привантажувача без зниження швидкості $v_{б}$ руху СН у цілому.

За робочою глибиною G ППС, як і інші підводні апарати і системи, поділяють на: ППС для малих глибин G_{600} (до 600 м); ППС для середніх глибин G_{2000} (до 2000 м); ППС для великих глибин G_{6000} (до 6000 м); ППС для надвеликих глибин G_{Max} (більше 6000 м).

За останні роки у діяльності вітчизняних цивільних організацій та силових структур спостерігається тенденція щодо збільшення пошукових та спеціальних робіт на водолазних глибинах (до 60 м), тому автори вважають за доцільне виділити окремий підклас ППС для мілководних акваторій G_{100} (до 100 м).

Наведені вище підходи до класифікації ППС є важливими насамперед для замовників такої техніки, оскільки дають змогу оцінити сферу їх застосування. Однак вони не містять інформацію про конструкторські рішення, закладені у їх технічну реалізацію.

Це не дає змоги визначити особливості побудови нових зразків підводної робототехніки та виконати порівняльний аналіз проектних рішень.

Виділення невирішених раніше частин загальної задачі. Проектні завдання створення нових конкурентоспроможних засобів підводної робототехніки можуть бути ефективно вирішені шляхом оперативного поєднання інформації про артефактні проектні рішення окремих складових ППС, які можна залучити до конкретного проекту, з інформацією про необхідні прикладні пошукові дослідження і розробки, які необхідно додатково провести для виконання вимог ТЗ на створення нової техніки. Таку інформацію проєктувальник може отримати із застосуванням узагальненої методики проєктування безекіпажних ППС на основі системного підходу [7].

Проте для ефективного її застосування доцільним є приведення класифікаційних ознак створюваної ППС до вимог системного підходу, тобто, виконати структурування класифікаційних вимог відповідно до системи матеріальних, енергетичних, інформаційних та експлуатаційних (функціональних) критеріїв.

Мета дослідження – подальший розвиток системи класифікаційних ознак ППС шляхом їх приведення у відповідність до матеріальних, енергетичних, інформаційних та

експлуатаційних (функціональних) критеріїв, що утворить інформаційну основу для застосування системного підходу на ранніх стадіях проектування ППС.

Об'єктом дослідження є процес проектування ППС із самохідними телекерованими чи буксирними підводними апаратами на ранніх стадіях їх створення.

Предметом дослідження є формування та структуризація множини класифікаційних ознак ППС як складової процесу прийняття ефективних конструкторських рішень на ранніх стадіях їх проектування.

Методи дослідження – основи теорії множин, системний підхід в організації процесів створення засобів морської робототехніки.

Викладення основного матеріалу.

Застосування методології системного підходу до класифікації ППС. На основі виконаного вище аналізу наявних класифікаційних ознак ППС можна сформулювати наступні множини таких ознак:

- за призначенням P :

$$P = \{P_P; P_G; P_R; P_H; P_B\}; \quad (1)$$

- за структурою просторової конфігурації C :

$$C = \{C_O; C_B\}; \quad (2)$$

- за робочою глибиною G :

$$G = \{G_{100}; G_{600}; G_{2000}; G_{6000}; G_{Max}\}. \quad (3)$$

Автори пропонують більш узагальнену класифікацію ППС, яка ґрунтується на системному підході [8] та передбачає чотири системні групи класифікаційних ознак: функціональні Φ , енергетичні E , інформаційні I та конструктивні K .

Тоді класифікаційні ознаки можна представити у вигляді множини KO :

$$KO = \{\Phi; E; I; K\}. \quad (4)$$

До функціональних ознак Φ доцільно віднести, власне, всі наведені вище вітчизняні класифікаційні ознаки (P , C , G), оскільки вони характеризують експлуатаційні можливості ППС. З огляду на специфіку застосування буксирних ППС варто доповнити вказані ознаки (1)-(3) суттєвою для проектувальників БПС ознакою B «схема буксування», за якою вирізняти БПС:

- приповерхневого буксування БПА $B_{ПБ}$ за класичною схемою – СН буксирує БПА або пошукові прилади (БПП) по поверхні моря; зазвичай, у такий спосіб буксирують пошукову гідроакустичну апаратуру при пошуку підводних родовищ нафти і газу [9];

- приповерхневого «зворотного» буксування БПА $B_{ПЗ}$, коли підводне СН (зазвичай, автономний підводний апарат у підводному положенні) буксирує БПА-радіобуй під поверхнею моря для організації оперативного радіо-, відео- та/чи супутникового зв'язку з базою в on-line режимі без спливання на поверхню моря [10];

- глибинного буксування $B_{ГБ}$ (СН буксирує БПА у товщі води); така схема буксування застосовується при виконанні наукових досліджень, а також при підводних пошукових роботах [11];

- придонного буксування $B_{ДБ}$ (СН буксирує БПА у безпосередній близькості до донної поверхні); буксування застосовується при виконанні пошукових і аварійно-рятувальних робіт, при проведенні підводних наукових досліджень [12].

Отже, для буксирних ППС додаткова множина класифікаційних ознак за схемою буксування B містить складові:

$$B = \{B_{ПБ}; B_{ПЗ}; B_{ГБ}; B_{ДБ}\}. \quad (5)$$

Тоді множина Φ функціональних ознак ППС буде мати наступні складові:

$$\Phi = \{П; С; Г; Б\}. \quad (6)$$

До енергетичних ознак E , які мають створювані ППС, доцільно віднести наступні:

$E_{Каб}$ – живлення СППС (БПА) забезпечується через КТ чи КБ від СН;

E_A – живлення СППС (БПА) забезпечується джерелами живлення, розташованими на борту БПА (зазвичай, це – акумуляторні батареї);

$E_{КабА}$ – живлення СППС (БПА) забезпечується за змішаною схемою, коли одна частина споживачів електроенергії підводного апарата живиться від бортових акумуляторних батарей (наприклад, системи навігації та керування), а інші – від джерела енергії СН через КТ чи КБ (наприклад, підсистеми електрообладнання корисного вантажу, потужні гідроакустичні прилади тощо).

Тоді множина E енергетичних ознак ППС буде мати наступні складові:

$$E = \{E_{Каб}; E_A; E_{КабА}\}. \quad (7)$$

Важливою складовою класифікаційних ознак сучасних ППС є *інформаційні ознаки* I , які характеризують рівень автоматизації ППС:

– при підготовці до роботи I_P (наприклад, автоматичне тестування обладнання перед початком місії) та після її завершення I_Z ;

– при виконанні підводної місії I_M (наприклад, ручне керування ППС I_{M-P} , автоматизоване керування I_{M-A} , автоматичне керування I_{M-AA} , інтелектуальне керування I_{M-I} , групове керування декількома СППС (БПА) або ППС I_{M-Gr}).

Іншою складовою інформаційної ознаки I є рівень інформатизації процесів, які мають місце при застосуванні ППС за призначенням – наявність та вид інформаційного обміну між підводним апаратом та ПЕК $I_{ПА-ПЕК}$ або між підводним апаратом та іншими підводними системами $I_{ПА-ПС}$ (наприклад, автономними підводними апаратами чи донними станціями). Зазвичай, це зв'язок через КТ чи КБ ($I_{ПА-ПЕК-К}$), гідроакустичний ($I_{ПА-ПЕК-ГАКС}$, $I_{ПА-ПС-ГАКС}$) або оптичний ($I_{ПА-ПЕК-О}$, $I_{ПА-ПС-О}$) канали зв'язку.

Тоді множина I інформаційних ознак ППС буде мати наступні складові:

$$I = \{I_P; I_Z; I_{M-P}; I_{M-A}; I_{M-AA}; I_{M-I}; I_{M-Gr}; I_{ПА-ПЕК-К}; I_{ПА-ПЕК-ГАКС}; I_{ПА-ПС-ГАКС}; I_{ПА-ПЕК-О}; I_{ПА-ПС-О}\}. \quad (8)$$

Зазначимо, що у загальному випадку автоматизації підлягають усі складові ППС:

– пристрій доставки СППА чи БПА на воду та прийому з води (на надводних судах та кораблях – це автоматичний СПП, на підводному апараті чи гелікоптері – дистанційно керовані ангари з автоматичними КЛ для випускання і прийому СППА чи БПА [13]);

– кабельні лебідки для автоматичного завдання довжини попущеної частини КТ чи КБ при усталеному русі підводного апарата та керованої зміни довжини КТ чи КБ у перехідних режимах експлуатації ППС;

– виконавчі механізми власне СППА чи БПА – електрорушійні пристрої СППА, приводи повороту несучих поверхонь, елеронів (елевонів) і хвостового оперення, рушії позиціонування БПА тощо [14];

– виконавчі механізми корисного вантажу, встановленого на СППА чи БПА – фото-, відео- і гідроакустичної апаратури, відбірників проб води і ґрунту тощо [15].

Розглянемо тепер *конструктивні ознаки* K класифікації ППС. До них, насамперед, віднесемо:

– склад обладнання ППС $K_{Обл}$ (базова комплектація $K_{Обл-Б}$, повна комплектація $K_{Обл-П}$, авіаційного $K_{Обл-Авіа}$ та підводного $K_{Обл-Підв}$ застосування);

– конструктивні рішення складових ППС – архітектурно-конструктивний тип СППА чи БПА $K_{ПА}$, конструктивні рішення щодо КЛ $K_{КЛ}$, КТ чи КБ $K_{К}$, СПП $K_{СПП}$ та ПЕК $K_{ПЕК}$;

– характеристики механічної автономності підводного апарата $K_{МА}$ (тільки

буксирований $K_{БПА}$, тільки телекерований самохідний $K_{СППА}$, з можливістю переходу БПА до режиму телекерованого $K_{БПА-СППА}$ чи до режиму самохідного автономного підводного апарата $K_{БПА-АПА}$, а також з можливістю переходу СППА до режиму самохідного автономного підводного апарата $K_{СППА-АПА}$);

– масогабаритні характеристики обладнання ППС $K_{МГХ}$.

Тоді множина K конструктивних ознак ППС буде мати наступні складові:

$$K = \{K_{Обл-Б}; K_{Обл-П}; K_{Обл-Авіа}; K_{Обл-Підв}; K_{ПА}; K_{КЛ}; K_{К}; K_{СПП}; K_{ЛЕК}; K_{Б}; K_{РОВ}; K_{АУВ}; K_{МГХ}\}. \quad (9)$$

Нижче наведемо основні класифікаційні ознаки для окремих складових ППС.

Формування і структуризація множини класифікаційних ознак складових ППС. *Класифікаційні ознаки СППА.* З позицій системного підходу (4) можна запропонувати наступні класифікаційні ознаки БПА:

– функціональні ознаки $\Phi_{СППА}$ – за призначенням $\Phi_{СППА-П}$, за структурою просторової конфігурації $\Phi_{СППА-С}$ та за робочою глибиною $\Phi_{СППА-Г}$ згідно (6);

– енергетичні ознаки $E_{СППА}$ – з електроживленням від СН $E_{СППА-СН}$, від власних бортових джерел енергії $E_{СППА-А}$ та комбінованого живлення $E_{СППА-СН-А}$, згідно (7);

– інформаційні ознаки $I_{СППА}$ – за рівнями автоматизації процесів інформаційного обміну та керування СППА $I_{СППА-П}$, $I_{СППА-М}$, $I_{СППА-З}$, $I_{СППА-ЛЕК}$, $I_{СППА-ПС}$, згідно (8);

– конструктивні ознаки $K_{СППА}$ – склад обладнання $K_{СППА-Обл}$ та архітектурно-конструктивний тип СППА (торпедоподібної форми $K_{СППА-Т}$, у формі паралелепіпеда $K_{СППА-П}$ тощо), згідно (9).

Класифікаційні ознаки БПА. З позицій системного підходу (4) можна запропонувати наступні класифікаційні ознаки БПА, які збігаються з ознаками СППА:

– функціональні ознаки $\Phi_{БПА}$ – за призначенням $\Phi_{БПА-П}$, за структурою просторової конфігурації $\Phi_{БПА-С}$, за схемою буксирування $\Phi_{БПА-Б}$ та глибиною $\Phi_{БПА-Г}$ згідно (6);

– енергетичні ознаки $E_{БПА}$ – з електроживленням від СН $E_{БПА-СН}$, від власних бортових джерел енергії $E_{БПА-А}$ та комбінованого живлення $E_{БПА-СН-А}$, згідно (7);

– інформаційні ознаки $I_{БПА}$ – за рівнями автоматизації процесів інформаційного обміну та керування БПА $I_{БПА-П}$, $I_{БПА-З}$, $I_{БПА-М}$, $I_{БПА-ЛЕК}$, $I_{БПА-ПС}$, згідно (8);

– конструктивні ознаки $K_{БПА}$ – склад обладнання $K_{БПА-Обл}$ та архітектурно-конструктивний тип БПА $K_{БПА}$ («планер» $K_{БПА-П}$, «літаюче крило» $K_{БПА-ЛК}$, «ротор Флеттнера» тощо), згідно (9).

Класифікаційні ознаки КТ і КБ. З позицій системного підходу (4) можна запропонувати наступні класифікаційні ознаки КТ та КБ:

– функціональні ознаки $\Phi_{КТ}$, $\Phi_{КБ}$ – за призначенням $\Phi_{КТ-П}$, $\Phi_{КБ-П}$ (вантажні функції, передача електроенергії та/або інформації) та за робочою глибиною, згідно (6);

– енергетичні ознаки $E_{КТ}$, $E_{КБ}$ – максимальна потужність, що передається, $E_{КТ-П}$, $E_{КБ-П}$ та втрати потужності $E_{КТ-ВП}$, $E_{КБ-ВП}$, максимальна електрична напруга живлення БПА $E_{КТ-Н}$, $E_{КБ-Н}$ та падіння напруги на КБ $E_{КТ-ПН}$, $E_{КБ-ПН}$, згідно (7);

– інформаційні ознаки $I_{КТ}$, $I_{КБ}$ – пропускну здатність інформації КБ $I_{КТ-ПЗ}$, $I_{КБ-ПЗ}$, завадостійкість інформаційних каналів $I_{КТ-ЗС}$, $I_{КБ-ЗС}$, згідно (8);

– конструктивні ознаки, відповідно, $K_{КТ}$ і $K_{КБ}$ – конструкція (оболонки, сердечника) $K_{КТ-К}$ $K_{КБ-К}$, мінімальний радіус згину $K_{КТ-РЗ}$, $K_{КБ-РЗ}$, характеристики плавучості $K_{КТ-ПЛ}$, $K_{КБ-ПЛ}$ та гідродинамічні характеристики КБ $K_{КТ-ГДХ}$, $K_{КБ-ГДХ}$ тощо, згідно (9).

Класифікаційні ознаки КЛ. Кабельні лебідки БПС являють собою електрифіковані пристрої морського застосування, які забезпечують оперативну керувану зміну довжини попущеної частини кабель-троса залежно від режиму роботи ППА, а також зберігання КБ у міжопераційний період.

Кабельні лебідки ППС класифікують за такими ознаками:

- за розміщенням – на палубі СН та під водою (на підводному апараті-носії);
- за типом привода – на електричні та гідравлічні;
- за рівнем автоматизації – на ручні, автоматизовані та автоматичні.

Рівень автоматизації КЛ розглядається у трьох аспектах:

- як шлях розвантаження операторів БПС від напруженої тривалої праці та недопущення помилок у керуванні, зумовлених людським фактором;
- як засіб компенсації (пасивної чи активної) збурюючі сили гідродинамічної природи, які виникають на БК під час буксирування;
- як єдино можливе технічне рішення при дистанційному керуванні КЛ як підводним обладнанням (наприклад, у складі БПС підводного апарата-носія чи безекіпажного СН).

З позицій системного підходу (4) можна запропонувати наступні класифікаційні ознаки КЛ:

- функціональні ознаки $\Phi_{КЛ}$ – за призначенням $\Phi_{КЛ-П}$ (суднові $\Phi_{КЛ-ПС}$, авіаційні $\Phi_{КЛ-ПА}$, підводні $\Phi_{КЛ-ПП}$) згідно (6);

- енергетичні ознаки $E_{КЛ}$ – споживана потужність $E_{КЛ-П}$, енергоживлення від мережі СН $E_{КЛ-СН}$ чи від автономного джерела енергії (зазвичай, акумулятора) $E_{КЛ-А}$, згідно (7);

- інформаційні ознаки $I_{КЛ}$ – за типом системи керування (ручне керування $I_{КЛ-Р}$, автоматизоване $I_{КЛ-А}$, коли частина режимів КЛ виконується в автоматичному режимі, та автоматичне $I_{КЛ-АА}$, коли всі режими роботи КЛ виконуються в автоматичному режимі, згідно (8);

- конструктивні ознаки $K_{КЛ}$ – за типом установки на СН (стаціонарні $K_{КЛ-С}$, що закріплюються на палубі $K_{КЛ-С-П}$, на вертикальній переборці $K_{КЛ-С-В}$ та на стелі $K_{КЛ-С-С}$) і мобільні $K_{КЛ-Моб}$ (на візках, що пересуваються палубою, або підвісними шляхами); за кількістю барабанів $K_{КЛ-Б}$ – на одnobарабанні $K_{КЛ-Б-1}$ та двобарабанні $K_{КЛ-Б-2}$ (останні, зазвичай, використовують подвійне перемотування КТ чи КБ для усунення з конструкції високовартісних струмопереходів); за типом кабельного барабана $K_{КЛ-ТБ}$ (нарізні $K_{КЛ-ТБ-Н}$, гладкі $K_{КЛ-ТБ-Г}$ і фрикційні $K_{КЛ-ТБ-Ф}$), згідно (9).

Класифікаційні ознаки СПП. Спуско-піднімальні пристрої (СПП) призначені для виконання палубних операцій з БПА – його спуском на воду перед початком підводної місії та підйом на палубу СН після завершення місії.

СПП класифікують за такими ознаками [13]:

- за базовою конструкцією – кранові, рамні, нахилені та шарнірні (маніпуляторні);
- за розміщенням – на палубі СН, під водою (на ПЧ) та авіаційні (на гелікоптері);
- за типом привода – на електричні та гідравлічні;
- за рівнем автоматизації – на ручні, автоматизовані та автоматичні.

Тому з позицій системного підходу (4) можна запропонувати наступні класифікаційні ознаки СПП:

- функціональні ознаки $\Phi_{СПП}$ – за призначенням $\Phi_{СПП-П}$ (суднові $\Phi_{КЛ-ПС}$, авіаційні $\Phi_{СПП-ПА}$, підводні $\Phi_{СПП-ПП}$) згідно (6);

- енергетичні ознаки $E_{СПП}$ – споживана потужність $E_{СПП-П}$, енергоживлення від мережі СН $E_{СПП-СН}$ чи від автономного джерела енергії (зазвичай, акумулятора) $E_{СПП-А}$, згідно (7);

- інформаційні ознаки $I_{СПП}$ – за типом системи керування (ручне керування $I_{СПП-Р}$, автоматизоване $I_{СПП-А}$, коли частина режимів СПП виконується в автоматичному режимі, та автоматичне $I_{СПП-АА}$, коли всі режими роботи СПП виконуються в автоматичному режимі, згідно (8);

- конструктивні ознаки $K_{СПП}$ – кранового типу $K_{СПП-К}$, рамного типу $K_{СПП-Р}$, нахилоного типу $K_{СПП-Н}$ та шарнірного типу $K_{СПП-Ш}$), згідно (9).

Класифікаційні ознаки ПЕК. Судновий пост енергетики та керування (ПЕК)

призначений для генерації усіх видів енергії, необхідних для роботи ППС, а також для керування роботою її складовими (СППА чи БПА, КЛ, СПП), прийому, аналізу та документування інформації, яка надходить з БПА.

Незважаючи на велике різноманіття варіантів побудови ПЕК для різних за призначенням БПС, можна виділити типові складові, характерні для цього виду техніки, які також можна описати у термінах системного підходу (4):

- функціональні ознаки $\Phi_{ПЕК}$ – за призначенням (суднові $\Phi_{ПЕК-С}$, авіаційні $\Phi_{ПЕК-А}$, підводні $\Phi_{ПЕК-П}$), згідно (6);
- енергетичні ознаки $E_{ПЕК}$ – енергоживлення від мережі СН $E_{ПЕК-СН}$ чи від автономного джерела енергії (зазвичай, акумулятора) $E_{ПЕК-А}$, згідно (7);
- інформаційні ознаки $I_{ПЕК}$ – за типом системи керування БПС $I_{ПЕК-СК}$ (ручне керування $I_{ПЕК-СК-Р}$, автоматизоване $I_{ПЕК-СК-А}$, коли частина режимів КЛ виконується в автоматичному режимі, та автоматичне $I_{ПЕК-СК-АА}$, коли всі режими роботи КЛ виконуються в автоматичному режимі, згідно (8);
- конструктивні ознаки $K_{ПЕК}$ – стаціонарні $K_{ПЕК-Ст}$ та мобільні $K_{ПЕК-Моб}$; останні призначені для використання в умовах відкритої палуби СН, згідно (9).

До складу типового ПЕК ППС входять: підвищувальний трансформатор живлення СППА чи БПА; щит електрокомутації; пульти пілота й оператора технологічного інструменту підводного апарата.

До складу пульта оператора підводного апарата, зазвичай, входять: кольорові відеомонітори; комп'ютери морського виконання; контролер системи інформаційного обміну СППА чи БПА; маніпулятори типу «джойстик» для керування просторовим положенням підводного апарата; джерело безперервного живлення; комутатор відеосигналів; панелі керування живленням підводного апарата, КЛ та СПП; джерело живлення СППА чи БПА.

Застосування запропонованої системи класифікаційних ознак ППС на ранніх стадіях їх проєктування.

Описані вище класифікаційні ознаки ППС дають можливість оперативно обирати технічні рішення щодо створюваних підводних систем з наявної бази даних *БДАп* артефактних проєктів та створених на їх основі реальних ППС. Крім того, згідно [8], одним з результатів застосування запропонованих класифікаційних ознак можливим є визначення необхідності виконання додаткових проєктних робіт у випадках, коли готових технічних рішень окремих складових ППС або їх вузлів не існує.

Узагальнений алгоритм організації проєктних робіт із застосуванням запропонованої системи класифікаційних ознак ППС на ранніх стадіях їх проєктування наведено на рис. 2.

Дамо опис окремих блоків алгоритму в порядку їх нумерації.

Блок 1 – аналіз вимог ТЗ на створення ППС та визначення ключових характеристик її складових (*П*, *С*, *Г*), необхідних для формування класифікаційних ознак створюваного засобу підводної техніки.

Блок 2 – формування класифікаційних ознак ППС та її складових згідно з вимогами системного підходу з використанням залежностей (4)-(9).

Блок БЗ – перевірка наявності артефактних проєктів та ринково доступних деталей і вузлів ППС. Умова X_1 має наступні предикати:

- x_{11} – звернення до бази даних *БДАп* артефактних проєктів ППС;
- x_{12} – звернення до бази даних *БДлв* ринково доступних деталей та вузлів ППС;
- x_{13} – перехід до блоків Б4 і Б5 для вибору, відповідно, раніше розроблених артефактних проєктів ППС та ринково доступних деталей та вузлів ППС;

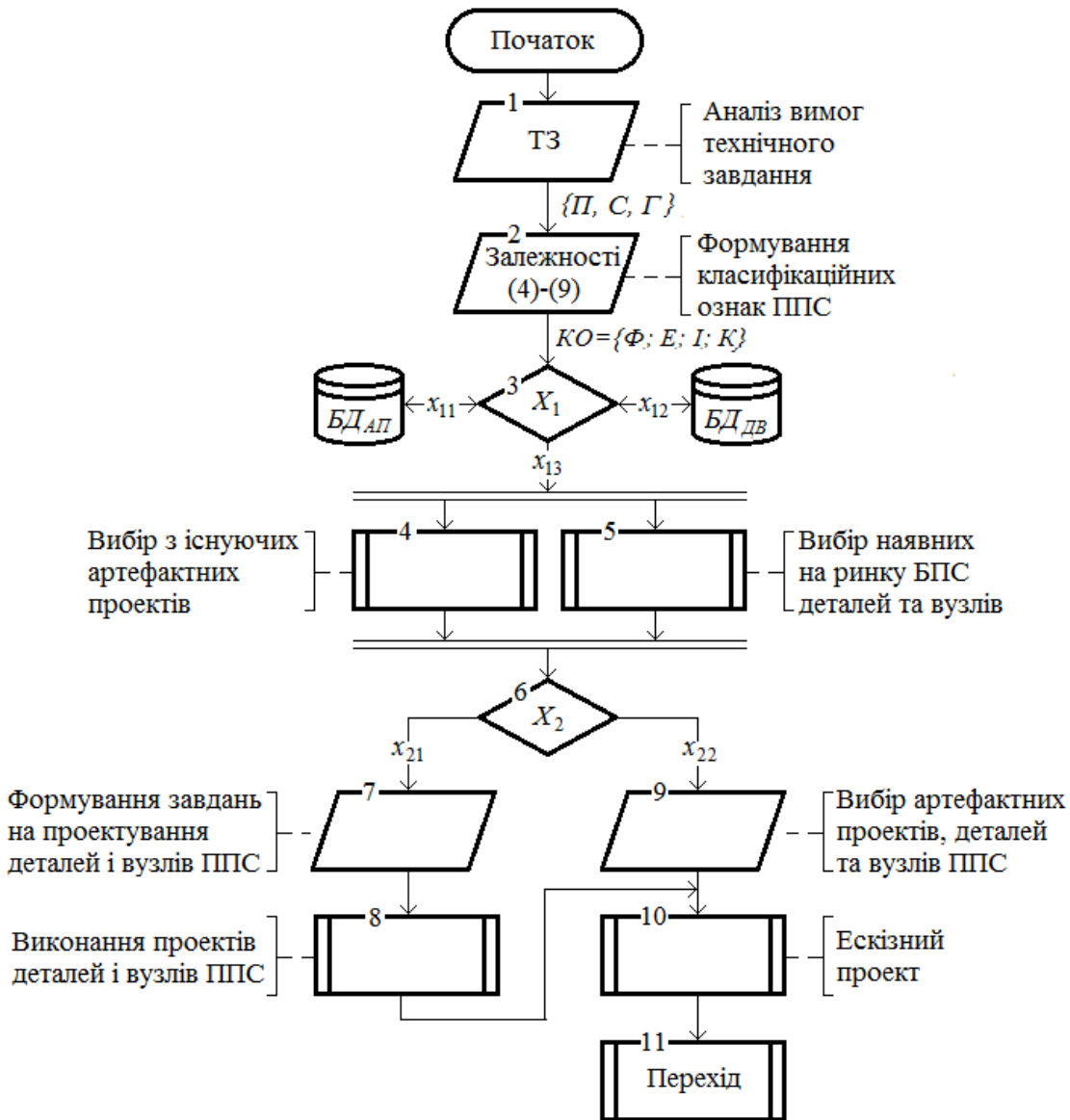


Рисунок 2 – Узагальнений алгоритм організації проектних робіт із застосуванням запропонованої системи класифікаційних ознак ППС на ранніх стадіях їх проектування

Блок Б6 – перевірка необхідності розробки та створення нових елементів та вузлів ППС. Умова X_2 має наступні предикати:

x_{21} – звернення до блоку Б7 формування завдань на проектування нових елементів і вузлів ППС, які відсутні в базах даних *БДАП* та *БДДВ*;

x_{22} – звернення до блоку Б9 вибору необхідних деталей та вузлів поточного проекту ППС, сформованих за умовою x_{12} з бази даних *БДДВ*.

Блок Б8 – виконання проектних робіт щодо створення оригінальних складових, елементів і вузлів поточного проекту ППС.

Б10 – виконання ескізного проекту ППС на основі використання як артефактних проектів та наявних на ринку деталей і вузлів ППС, так і з використанням запроектованих та новостворених елементів і вузлів для елементів і вузлів поточного проекту ППС.

Попередні оцінки свідчать, що застосування запропонованої системи класифікаційних ознак (4) у проектній практиці дасть змогу скоротити витрати часу на підготовку попередніх проектних рішень для ескізного проекту ППС на 7–10%, що дасть змогу знизити загальні витрати проектних ресурсів, загальну собівартість і, тим самим, підвищити конкурентоздатність новостворюваних ППС на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Висновки

1. Уперше з позицій системного підходу запропоновано перелік класифікаційних ознак для прив'язних самохідних і буксированих підводних систем, призначених для використання проектувальниками засобів підводної робототехніки. Вказані групи ознак структуровані відповідно до матеріальних, енергетичних, інформаційних та експлуатаційних (функціональних) критеріїв, що дає змогу виконувати порівняльну оцінку наявних систем за ключовими показниками та формалізувати процеси їх синтезу на ранніх стадіях проектування.

2. Розроблено узагальнений алгоритм організації проектних робіт із застосуванням запропонованої системи класифікаційних ознак прив'язних самохідних і буксированих підводних систем на ранніх стадіях їх проектування. Алгоритм передбачає формування та структурування множини класифікаційних ознак таких систем, як первинний етап процесу прийняття ефективних конструкторських рішень на ранніх стадіях проектування засобів підводної робототехніки.

3. Запропоновані класифікаційні ознаки дають змогу з мінімальними витратами проектних ресурсів за допомогою відповідних баз даних вибрати артефактні проекти та доступні на ринку підводної техніки вузли і деталі підводних систем, що суттєво знижує собівартість проектних робіт і підвищує конкурентоздатність вітчизняних наукоємних розробок.

4. Подальші дослідження планується проводити у напрямі створення прикладних проектних методик використання розроблених класифікаційних ознак та розвитку баз даних артефактних проектів та ринково доступних вузлів і деталей підводних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки: Монографія / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, Г.В. Єгоров, Ю.Д. Жуков, В.Ф. Квасницький, К.В. Кошкін, І.В. Кривцун, В.О. Некрасов, В.В. Севрюков, Ю.В. Солоніченко; за ред. С.С. Рижкова. Миколаїв : Видавництво НУК, 2011. 340 с.

2. Управління успішними проектами створення складної техніки : монографія / Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов, Є. А. Дружинін, С. Г. Кійко, Н. Р. Книрик, К. В. Кошкін, Д. М. Крицький, С. С. Рижков, С. О. Слободян, Т. А. Фаріонова. Миколаїв : Видавництво Торубари В. В., 2017. 336 с.

3. Блінцов В. С., Клочков О. П. Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення. *Підводні технології*. 2016. Вип. 3. С. 25–30.

4. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. Москва : Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. 780 с.

5. Button, Robert W., John Kamp, Thomas B. Curtin, and James Dryden. A Survey of Missions for Unmanned Underwater Vehicles. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2009. URL : <https://www.rand.org/pubs/monographs/MG808.html>

6. Егоров, В. И. Подводные буксируемые системы : учебное пособие. Львів : Судостроение, 1981. 304 с.

7. Volodymyr Blintsov, Olexandr Klochkov. Generalized Method of Designing Unmanned Remotely Operated Complexes Based on the System Approach. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. Number 2. P. 43–51. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00878

8. Blintsov V., Kucenko P. Application of systems approach at early stages of designing unmanned towed underwater systems for shallow water areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 5/9 (101). P. 15–26. DOI: 10.15587 / 1729-4061.2019.179486

9. Буксирований профілограф EdgeTech 3100. URL : <http://www.tetis-pro.ru/catalog/edgetech-3100-buksiruemyu-profilograf/>.

10. Авраменко П. Г., Буруніна Ж. Ю., Соколовський Г. П. Дослідження характеристик підйомного підводного апарата у дослідовому басейні. *Зб. наук. праць НУК*. Миколаїв : НУК, 2005. № 2. С. 32–39.
11. Воробйов Ю. Л., Баскаков С. М. Техніка освоєння континентального шельфу. Одеса : ОНМА, 2003. 107 с.
12. Лискин В. А., Зарецкий А. В., Римский-Корсаков Н. А. Разработка глубоководных буксируемых систем для исследования придонной области океана. *Научное обозрение. Технические науки*. 2019. № 1. С. 37–42. URL : <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1229>.
13. Бугаенко Б. А. Динамика судовых спускоподъемных операций. Киев : Наукова думка, 2004. 320 с.
14. Siciliano Khatib. Handbook of Robotics. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2008. 1610 Pages. URL : https://books.google.com.ua/books?id=Xpgi5gSuBxsC&pg=PA1005&lpg=PA1005&dq=Underwater++ROV+Monographies&source=bl&ots=IVpkX4I71O&sig=ACfU3U3DChQbew2 BUM pJ8jUSNut_9IYPg&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwjt0KOD4snqAhUIx4sKHSZ4BQoQ6AEwA HoECAoQAQ#v=onepage&q=Underwater%20%20ROV%20Monographies&f=false
15. WHOI Towed Vehicle «CAMPER». URL : <http://www.whoi.edu/main/camper>

REFERENCES

1. Ryzhkov, S.S., Blintsov, V.S., Yehorov, H.V., Zhukov, Yu.D., Kvasnytskyi, V.F., Koshkin K.V., Solonichenko, Yu.V. (2011). *Stvorennia universalnykh transportnykh suden i zasobiv okeanotekhniki* [Creation of universal transport vessels and means of ocean engineering] : Monografiya. Mykolaiv: NUK. p. 340 [in Ukrainian]
2. Babkin, H.V., Blintsov, V.S., Druzhynin, Ye.A., Kijko, S.G., Knyrik, N. R., Koshkin, K.V., ... Farionova, T.A. (2017). *Upravlinnya uspishnyimi proektami stvorennia skladnoyi texniki*: Monografiya. Mykolayiv: Publisher Torubary V. V.
3. Blintsov, V.S., Klochkov, O.P., (2016). Rivnyannya isnuvannya samoxidnoyi pryvyaznoyi pidvodnoyi systemy yak ocinka mozhlyvosti yiyi stvorennia. *Zhurnal «Pidvodni texnologiyi»*, issue 3, pp. 25-30.
4. *Podvodnye tekhnologii i sredstva osvoiniya Mirovogo okeana*. (2011). M.: Izdatelskiy dom «Oruzhie i tekhnologii».
5. Button, Robert W., John Kamp, Thomas B. Curtin, and James Dryden. (2009). *A Survey of Missions for Unmanned Undersea Vehicles*. Santa Monica, CA: RAND Corporation. Retrieved from: <https://www.rand.org/pubs/monographs/MG808.html>
6. Yegorov, V. I. (1981). *Podvodnye buksiruemye sistemy.*: Uchebnoe posobie. L.: Sudostroenie.
7. Blintsov, V., Klochkov, O. (2019). Generalized Method of Designing Unmanned Remotely Operated Complexes Based on the System Approach – «EUREKA: Physics and Engineering», no 2, pp. 43-51. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00878
8. Blintsov, V., Kucenko, P. (2019). Application of systems approach at early stages of designing unmanned towed underwater systems for shallow water areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 5/9 (101), pp. 15-26. DOI: 10.15587 / 1729-4061.2019.179486
9. *Buksyruvaniy profilohraf EdgeTech 3100*. Retrieved from: <http://www.tetis-pro.ru/catalog/edgetech-3100-buksiruemyy-profilograf/>.
10. Авраменко, П.Г., Буруніна, Ж.Ю., Соколовський, Г.П. (2005). Дослідження характеристик підйомного підводного апарата у дослідовому басейні. *Збірник наукових праць*. Миколаїв: НУК, no 2, pp. 32-39.

11. Vorobiov, Yu. L., Baskakov, S.M. (2003). Tekhnika osvoinnia kontynentalnoho shelfu. Odesa: ONMA.
12. Liskin, V.A., Zaretskiy, A.V., Rimskiy-Korsakov, N.A. (2019). Razrabotka glubokovodnykh buksiruemykh sistem dlya issledovaniya pridonnoy oblasti okeana: Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki, no 1, pp. 37-42. Retrieved from: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1229>.
13. Bugaenko, B.A. (2004). Dinamika sudovykh spuskopodemnykh operatsiy. Kiev: Naukova dumka.
14. Siciliano Khatib. Handbook of Robotics. Springer Verlag Berlin Heidelberg. (2008). Retrieved from: https://books.google.com.ua/books?id=Xpgi5gSuBxsC&pg=PA1005&lpg=PA1005&dq=Underwater++ROV+Monographies&source=bl&ots=1VpkX4171O&sig=ACfU3U3DChQbew2_BUMpJ8jUSNut_9IYPg&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwj0KOD4snqAhUIx4sKHSZ4BQoQ6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=Underwater%20%20ROV%20Monographies&f=false
15. WHOI Towed Vehicle «CAMPER». Retrieved from: <http://www.who.edu/main/camper>

Блинцов В. С., Ключков А. П., Куценко П. С. КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ НЕОБИТАЕМЫХ ПРИВЯЗНЫХ ПОДВОДНЫХ СИСТЕМ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Стадия проектирования достаточно ресурсоемкие в общем процессе создания средств морской робототехники. Поэтому актуальной является прикладная научная задача снижения ресурсных затрат таких процессов, в том числе и за счет сокращения затрат времени на выполнение проектных работ путем определения проектных характеристик уже на ранних стадиях проектирования. Предложенный подход к снижению таких расходов предусматривает структурирование классификационных признаков привязных подводных систем таким образом, чтобы максимально упростить выбор и обоснование проектных решений на стадии эскизного проектирования. Для проектировщиков подводной техники предложен перечень классификационных признаков привязных самоходных и буксируемых подводных систем, основанный на системном подходе и структурированный в соответствии с материальными, энергетическими, информационными и эксплуатационными (функциональными) критериями. Это позволяет выполнять сравнительную оценку существующих систем по ключевым показателям и формализовать процессы их синтеза на ранних стадиях проектирования. Для демонстрации возможностей системного подхода разработаны обобщенный алгоритм организации проектных работ с применением предложенной системы классификационных признаков привязных самоходных и буксируемых подводных систем на ранних стадиях их проектирования. Алгоритм предусматривает формирование и структурирование множества классификационных признаков таких систем, как первичный этап процесса принятия эффективных конструкторских решений на ранних стадиях проектирования средств подводной робототехники. Показано, что использование предложенных классификационных признаков позволяет с минимальными затратами проектных ресурсов обратиться в соответствующие базы данных и выбрать ранее созданные артефактные проекты и выбрать доступные на рынке подводной техники узлы и детали подводных систем, удовлетворяющие требованиям технического задания на создание привязных подводных систем. Это существенно снижает себестоимость проектных работ и повышает конкурентоспособность отечественных наукоемких разработок на рынках морской робототехники.

Ключевые слова: привязная подводная система, проектирование, системный подход, классификационные признаки.

Blintsov V. S., Klochkov O. P., Kucenko P. S. CLASSIFICATION CHARACTERISTICS OF UNMANNED TETHERED UNDERWATER SYSTEMS AS A COMPONENT OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF THEIR DESIGN

The design stage is considered to be rather resource-intensive in the entire process of creating marine robotic technology. Therefore, the applied scientific task of reducing the resource costs for those processes is of high interest. Among other things, the time consumed for design stage has to be reduced by determining the design characteristics at an early stage of design.

The approach considered to reduce such costs involves structuring the classification features of tethered underwater systems in such a way as to simplify the selection and justification of design solutions at the stage

of preliminary system design. For design engineers of underwater equipment, the list of classification features of tethered self-propelled and those towed underwater systems has been suggested. The list is based on a system approach and is structured according to material, energy, information and operational (functional) criteria. All of that enables performing the comparative assessment of existing systems upon key indicators and formalizing the processes of their synthesis at early stages of design.

To demonstrate the capabilities of the system approach, the generalized algorithm for the organization of design works using the system of classification features of tethered self-propelled and towed underwater systems at the early stages of their design. The algorithm involves the formation and structuring of many classification features of such systems as the initial stage of the process of making effective design decisions in the early stages of design of underwater robotics.

It has been revealed that putting in use the classification features system in question, enables deploying minimal project resources to make reference to the relevant databases and decide on already-existing artifact projects and select out of those available in the underwater equipment market key components and parts of underwater systems which would satisfy the requirements of the technical task of implementing the tethered underwater systems. That would significantly reduce the prime cost of design works and enhance the competitiveness of domestic science-based achievements in the markets of marine robotics.

Keywords: *tethered underwater system, design, system approach, classification features.*

© Блінцов В. С., Клочков О. П., Куценко П. С.

Статтю прийнято
до редакції 26.06.20