

УДК 65.01 : 629.584

DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-3771392020229111>

В. С. Блінцов¹, професор, д.т.н., **П. С. Куценко**², магістр

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ПІД ЧАС ЗОВНІШНЬОГО ПРОЕКТУВАННЯ НЕНАСЕЛЕНИХ БУКСИРУВАНИХ ПІДВОДНИХ СИСТЕМ

En

The purpose of the work is to improve the methodology of external design of unmanned towed underwater systems on the basis of a systematic approach and to develop generalized indicators of their intended use.

This goal is achieved by applying a systematic methodology, set theory and SWOT analysis of research results.

As a result of system-based research, the structure of generalized performance indicators for the use of towed underwater defense systems has been determined as a methodological basis for the formation of a state order. It is established that the main generalized indicators it is advisable to attribute the set of probable threats to the state from the maritime direction, which have underwater origin, the set of methods of counteracting the probable threats, the set of indicators of the effectiveness of the use of a single towed submarine system for the implementation of the specified methods of counteraction underwater system and many technical and economic indicators that can form the basis of a state order spare.

The scientific results of the work include the first developed structure of generalized indicators of efficiency of use of a towed underwater system, which is obtained on the basis of a systematic approach methodology, components of these generalized performance indicators, which forms the theoretical basis for the development of methods for quantifying them Second external evaluation stage design of this type of marine equipment.

¹ Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

² Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

The practical importance of the work is confirmed by the examples of practical use of some generalized indicators of the effectiveness of the use of a towed underwater system for monitoring marine waters, which make it possible to make an informed decision at the preliminary stage of formation of the state order.

Ru

К научным результатам работ принадлежат впервые разработанная структура обобщенных показателей эффективности применения буксируемой подводной системы, которая получена на основе методологии системного подхода, и впервые разработанные основные составляющие указанных обобщенных показателей эффективности, которые образуют теоретическую основу для разработки методов их количественной оценки на стадии внешнего проектирования такого вида морской техники.

Практическая значимость работы подтверждена примерами практического использования некоторых обобщенных показателей эффективности применения буксируемой подводной системы для мониторинга морских акваторий, которые дают возможность принять обоснованные проектные решения на ранних стадиях формирования заказа.

Вступ

Буксировані підводні системи (БПС) на цей час відносяться до типових та широко застосовуваних інструментів роботизованого дослідження морського середовища, морської видобувної промисловості тощо [1-3]. Їм притаманні суттєві переваги перед іншими засобами підводної техніки (населеними буксированими підводними апаратами, безекіпажними автономними та прив'язними підводними апаратами) – висока продуктивність та відносна простота обслуговування, повна відсутність ризику для життя їх екіпажів.

Зазвичай БПС застосовують із борту судна – буксирувальника (СБ), на якому розміщують надводні складові системи: пост енергетики і керування БПС (ПЕК) та кабельну лебідку (КЛ). За допомогою КЛ змінюють довжину попущеної частини кабель – буксиру (КБ) у залежності від глибини та швидкості руху СБ, а також зберігають КБ у між операційний період. Ненаселений буксирований підводний апарат (БПА) опускається на воду перед початком буксирования та піднімається на борт СБ після завершення роботи за допомогою спуско – піднімального пристрою (СПП).

Типовий склад обладнання НБПС наведено на рис. 1.

Сьогодні організації України, які ведуть виробничу діяльність на морі, не мають у складі свого оснащення сучасних БПС, що унеможливує їх ефективну діяльність на мілководних акваторіях держави.

Проектування сучасних БПС в інтересах вітчизняних організацій має виконуватись із залученням новітніх методів проектування, які б забезпечили високу конкурентоспроможність нових зразків морської робототехніки на внутрішньому і зовнішньому ринках. Такі методи мають ґрунтуватись на системному підході [4, 5], який забезпечує певні переваги перед традиційними методами дослідження і проектування, оскільки дає змогу

створювати більш адекватні дійсності моделі БПС як складних морських рухомих об'єктів, враховувати характер зв'язків між складовими БПС у процесі їх функціонування.

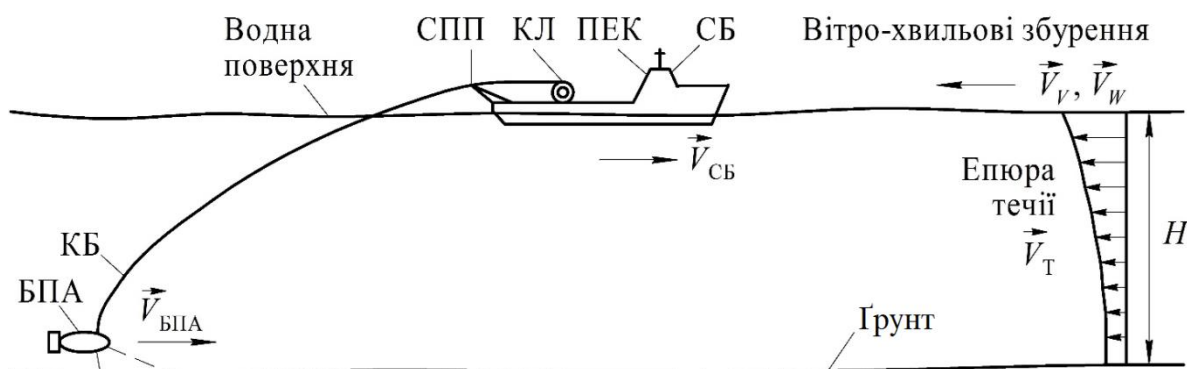


Рис. 1. Типові складові ненаселеної буксированої підводної системи

До ефективних підходів у проектуванні нових зразків морської техніки слід віднести також методологію дослідницького проектування [6], яка охоплює наукові, експериментальні та проектні роботи з метою формування концепту нового об'єкту суднобудівної промисловості вже на ранніх стадіях її проектування – формуванні технічного завдання, розробці технічних пропозицій та ескізного проекту.

Зазвичай проектування будь-якої морської інженерної споруди включає дві основні стадії [7], які по відношенню до створення БПС можна представити як:

- зовнішнє проектування – формування цілей проектування та узагальнених експлуатаційних характеристик, уточнення кола розв'язуваних завдань та вимог до їх результатів; формування вимог до об'єкта проектування та розробку технічного завдання (ТЗ), що містить основні технічні вимоги до нього, взаємодії з судном - буксирувальником та його палубним обладнанням, що забезпечують ефективне виконання завдань за призначенням; дослідження умов взаємодії з зовнішнім середовищем і вимог щодо протистояння зовнішнім впливам природного та антропогенного походження;
- внутрішнє проектування – визначення внутрішньої структури об'єкта проектування, прийняття технічних рішень щодо його складових частин, параметрів, режимів експлуатації; відповідно до вимог ТЗ (зовнішнього проектування) розробку необхідної технічної та проектно-конструкторської документації.

На цей час не створено єдиного теоретичного підходу до процесу проектування БПС на основі системного підходу і, зокрема, на ранніх стадіях проектування. Тому актуальним є прикладне наукове завдання розробки загальної методології зовнішнього проектування таких систем на принципах системного підходу як початкової стадії створення конкурентоздатних засобів підводної робототехніки.

Дослідженню буксированих підводних апаратів і систем та розробці методів їх проектування присвячено значну кількість наукових монографій і статей у наукових журналах. Фундаментальні наукові результати отримані у [8-11], де викладено дослідження властивостей БПС та методи розрахунку їх складових у квазістаціонарних і динамічних режимах. Однак, у вказаних публікаціях не висвітлено питання обґрунтування вимог до технічних характеристик БПА на ранніх стадіях проектування.

У роботі [12] досить повно описані методи математичного моделювання БПС та особливості проектування окремих складових, що важливо для етапів технічного проектування, але не може слугувати інструментарієм на ранніх стадіях проектування БПС.

У роботі [13] детально розглядаються питання застосування БПС, що частково може бути корисним на стадії зовнішнього проектування, проте матеріал подано у вигляді загального опису та без аналітичних викладок і, таким чином, має допоміжний характер.

Значну кількість публікацій присвячено розробкам і застосуванню БПС у воєнних цілях. У працях зарубіжних авторів розглядаються як загальні питання застосування БПС у протимінній війні, так і питання побудови протимінних буксированих систем. Однак, вказані матеріали не містять проектних методик ні для зовнішнього, ні для внутрішнього проектування.

У роботі [14] у загальному вигляді формулюються завдання щодо необхідності створення БПС в інтересах ВМС Збройних Сил України, проте питання власне проектування таких систем автори не досліджують.

Комплексний підхід до проектування БПС для виявлення та класифікації затонулих підводних об'єктів на мілководді (<50 м) розглянуто у [15]. Автори планують виконати проектне дослідження з аналізу набору вимог замовників та користувачів БПС, розробити специфікацію, яка відповідатиме вимогам та включатиме: корпус БПА та систему сенсорів, системи суден - буксирувальників (кабельні лебідки, кабель-буксири, електроніку тощо), інтерфейси електричної енергії та даних тощо.

Більш детально і повно питання проектування розглянуто у [16], проте публікація носить навчально-методичний характер і питання проектування у чистому вигляді не розглядаються.

Найбільш близькою за постановкою задачі є робота [17], де у загальнонауковій постановці сформульовано принципи внутрішнього проектування БПС на основі принципів системного підходу. Однак, особливості застосування методології системного підходу до стадії зовнішнього проектування БПС автори не розглядають.

Аналіз наведених публікацій свідчить про наявність досить глибоких теоретичних досліджень та проектних методик, які відносяться до стадії внутрішнього проектування БПС. Одночасно можна констатувати практично повну відсутність досліджень, пов'язаних із розвитком методів зовнішнього проектування БПС.

Так, наразі у науково-технічній літературі відсутні дослідження, які б могли слугувати теоретико-методологічною основою під час формування передпроектного обрису нової БПС, попереднього визначення їх технічних характеристик та оцінок очікуваної ефективності застосування за призначенням. Зокрема, з позицій Замовника БПС актуальним є створення методик науково обґрунтованого визначення необхідної кількості замовлених БПС для пошуково-розвідувальних і протимінних морських операцій, формування вимог до суден - буксирувальників БПС та їх палубного обладнання, попередньої оцінки продуктивності БПС тощо.

Постановка задачі

Метою роботи є удосконалення методології зовнішнього проектування ненаселених буксируваних підводних систем на основі системного підходу та розробка узагальнених показників ефективності їх застосування за призначенням.

Для досягнення поставленої мети у роботі розв'язано наступні задачі:

- на основі системного підходу визначено структуру узагальнених показників ефективності застосування БПС як методологічну основу для формування державного замовлення;
- сформовано змістовну частину (склад) отриманих узагальнених показників ефективності застосування БПС як теоретичну основу розробки методів обчислення їх кількісних значень;
- наведено приклад практичного використання узагальнених показників ефективності застосування БПС.

Об'єктом дослідження є розташована на судні - буксирувальнику ненаселена буксирувана підводна система.

Предметом дослідження є процеси визначення структури та складу узагальнених показників ефективності БПС на стадії зовнішнього проектування. Під час виконання досліджень використовувались основи системного підходу та теорія множин, *SWOT*-аналіз результатів досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сутність системного підходу під час зовнішнього проектування БПС полягає у формуванні та всебічному аналізі узагальнених показників *MG* ефективності застосування майбутньої БПС за призначенням. Такі показники утворюють основу для формування державного замовлення та подальшого створення й прийняття до експлуатації нових зразків БПС.

На цей час у проектній практиці БПС такі показники відсутні, а їх формалізація знаходиться на початковій фазі свого розвитку [18, 19].

Попередній аналіз стану справ у вітчизняній робототехніці [20] та власний досвід авторів у проектуванні та експлуатації засобів підводної робототехніки свідчить, що до узагальнених показників MG для БПС, у першу чергу, слід віднести:

- множину типових завдань морської діяльності підводного походження T_{UW} , які мають розв'язувати державні морські служби відповідно до роду своєї діяльності;
- множину методів роботизованого виконання M_{MC} цим завданням;
- множину показників ефективності застосування одиночної БПС M_P у разі реалізації вказаних методів M_{MC} ;
- множину основних технічних характеристик БПС C_{TT} , які мають відповідати умовам їх застосування;
- множину техніко-економічних показників I_{TE} , які можуть бути покладені в основу державного замовлення на створення БПС відповідного призначення.

Таким чином, множина узагальнених показників ефективності застосування майбутньої БПС має наступні складові:

$$MG = \{T_{UW}; M_{MC}; M_P; C_{TT}; I_{TE}\}. \quad (1)$$

Оскільки на цей час однією із актуальних задач забезпечення ефективної роботи вітчизняних морських організацій є безпека їх діяльності, розглянемо змістовну частину зазначених узагальнених показників ефективності використання БПС при їх застосуванні для задач моніторингу підводної обстановки у територіальному морі України.

Виходячи із Морської доктрини України [21] та морської стратегії держави [22] множині T_{UW} типових завдань морської діяльності підводного походження можна представити у вигляді наступних завдань:

$$T_{UW} = \{T_{UW-M}; T_{UW-T}; T_{UW-D}; T_{UW-IS}; T_{UW-A}\}, \quad (2)$$

де T_{UW-M} – мінні загрози, які полягають у можливому мінуванні акваторій портів та підходів до них T_{UW-MP} , мінуванні рекомендованих водних транспортних шляхів T_{UW-MW} , мінуванні акваторій військово-морських баз та підходів до них T_{UW-MB} , мінування акваторій важливих об'єктів видобувної галузі держави (морських газо- і нафтовидобувних платформ тощо) T_{UW-MO} , постановки мінних загороджень у територіальних водах держави T_{UW-MU} з метою блокування міжнародних морських транспортних сполучень;

T_{UW-T} – загрози терористичних нападів на судна T_{UW-TS} та морські інженерні споруди T_{UW-TE} (морські стаціонарні платформи, бурові установки тощо);

Механіка елементів конструкції

T_{UW-D} – загрози скоєння диверсійних акцій відносно суден T_{UW-DS} , морських інженерних споруд T_{UW-DE} та об'єктів портової інфраструктури T_{UW-D} ;

T_{UW-IS} – загрози, пов'язані із розміщенням у територіальних водах держави розвідувальної апаратури (на дні T_{UW-ISB} та в товщі води T_{UW-ISW});

T_{UW-A} – загрози, пов'язані із розміщенням у територіальних водах держави підводних складів озброєння T_{UW-AW} та воєнної техніки T_{UW-AT} із метою підготовки збройної агресії.

Множина M_{MC} методів протистояння зазначеним загрозам може бути представлена наступними методами:

$$M_{MC} = \{M_{MC-M}; M_{MC-D}; M_{MC-I}; M_{MC-N}\}, \quad (3)$$

де M_{MC-M} – методи проведення моніторингу (постійного M_{MC-MC} і періодичного M_{MC-MP} , які виконуються планово, та цільового M_{MC-MT} , який виконується за наявності конкретної інформації про реалізацію загрози – ознак мінування акваторії чи ознак інших видів несанкціонованої діяльності на акваторії);

M_{MC-D} – методи документування підводної обстановки (картографування донної поверхні M_{MC-DK} , підводної фото- чи відеозйомки M_{MC-DV} , магнітометричної M_{MC-DM} та гідроакустичної зйомки M_{MC-DG});

M_{MC-I} – методи інформаційного забезпечення заходів (технологій застосування БПС) для організації протидії загрозам, які виникли для держави з морського напрямку (методи ідентифікації M_{MC-Id} та класифікації M_{MC-Ic} загроз);

M_{MC-N} – методи нейтралізації загроз державі з морського напрямку (попереджувальні M_{MC-NW} та силові M_{MC-NL}).

Множина M_P показників ефективності застосування одиночної БПС у разі реалізації вказаних методів протистояння M_{MC} загрозам T_{UW} має містити, власне, показники та методики їх застосування, за допомогою яких службові особи, що приймають рішення, могли б кількісно оцінити ключові індикатори впливу БПС на зниження чи нейтралізацію загроз.

У загальному випадку множину таких показників можна представити у наступному складі:

$$M_P = \{M_{P-M}; M_{P-D}; M_{P-I}; M_{P-N}\}, \quad (4)$$

де M_{P-M} – показник якості проведення моніторингу акваторії, який характеризує імовірність виявлення ознак несанкціонованої діяльності на акваторії та містить підмножину наступних показників: імовірність вияв-

лення факту мінування акваторії M_{P-MM} , імовірність виявлення підготовки терористичного акту M_{P-MT} чи диверсії M_{P-MD} ; імовірність виявлення фактів установки підводної розвідувальної апаратури M_{P-MI} чи облаштування підводного складу озброєння та воєнної техніки M_{P-MA} ; M_{P-D} – показник якості документування підводної обстановки, що оцінюється відокремлювальною здатністю джерел інформації про підводну обстановку M_{P-DR} , що встановлені на БПС, та точністю M_{P-DC} систем керування просторовим рухом БПС;

M_{P-I} – показник ефективності інформаційного забезпечення заходів протистояння загрозам T_{UW} ; це, у першу чергу, ефективність роботи прикладного програмного забезпечення щодо автоматичного розпізнавання образів M_{P-IR} , достовірність ідентифікації M_{P-II} та класифікації M_{P-IC} виявлених загроз відповідно до показників M_{P-M} та M_{P-D} ;

M_{P-N} – показник ефективності підводних робіт з нейтралізації загроз державі з морського напрямку, який у загальному випадку містить оцінки попереджувальних M_{P-NW} та силових M_{P-NL} дій екіпажу БПС; зазвичай, попереджувальні дії передбачають звукове (гідроакустичне) попередження підводного диверсанта про факт його виявлення з тим, щоб змусити відмовитись від атаки; силові дії екіпажу БПС передбачають застосування проти підводного диверсанта зброї не летальної та летальної дії, а проти виявлених морських мін – засобів гуманітарного чи бойового розмінування.

Множина C_{TT} основних технічних характеристик характеризує загальні властивості майбутньої БПС, які мають забезпечити реалізацію методів M_{MC} протистояння імовірним загрозам T_{UW} . До таких характеристик належать:

- продуктивність C_{TT-MCU} виконання підводних робіт переліку M_{MC} одиночною БПС та продуктивність C_{TT-MCG} виконання цих робіт групою БПС; останній показник характеризує можливості як групового застосування декількох суден - буксирувальників із одиночними БПС на борту, так й застосування декількох БПС із борту одного судна - буксирувальника;
- можливість реалізації принципу «все за одне занурення» C_{TT-OD} , який автори пропонують як розвиток відомої *SLAM*-технології виконання підводних робіт [23]; сутність принципу полягає в одночасному виконанні буксированою підводною системою наступних трьох робіт: побудова цифрової карти донної поверхні C_{TT-ODC} , локалізація (обчислення)

складових БПС на цій карті C_{TT-ODL} та виконання підводних технологій C_{TT-ODT} протистояння M_{MC} імовірним загрозам T_{UW} .

Таким чином, множину C_{TT} основних технічних характеристик майбутньої БПС можна представити у вигляді:

$$C_{TT} = \{C_{TT-MCU}; C_{TT-MCG}; C_{TT-OD}\}. \quad (5)$$

Множина I_{TE} техніко-економічних показників, які можуть бути покладені за основу державного замовлення, узагальнено може бути представлена трьома наступними характеристиками:

- показниками витрат на закупівлю БПС I_{TE-P} ;
- показниками витрат на експлуатацію (застосування за призначенням) БПС I_{TE-E} ;
- показниками витрат на ремонт БПС I_{TE-R} .

Таким чином, множину I_{TE} можна представити наступною залежністю:

$$I_{TE} = \{I_{TE-P}; I_{TE-E}; I_{TE-R}\}. \quad (6)$$

У свою чергу, показники (6) мають наступну структуру:

$$I_{TE-P} = \{I_{TE-PP}; I_{TE-PC}; I_{TE-PA}\}; \quad (7)$$

$$I_{TE-E} = \{I_{TE-EP}; I_{TE-ET}; I_{TE-EV}\}; \quad (8)$$

$$I_{TE-R} = \{I_{TE-RP}; I_{TE-RT}\}, \quad (9)$$

де I_{TE-PP} , I_{TE-PC} , I_{TE-PA} – відповідно, витрати на проектування, будівництво та випробування БПС;

I_{TE-EP} – експлуатаційні витрати на БПС при її застосуванні за призначенням (реалізація методів M_{MC}), а також витрати на її технічне обслуговування і ремонт;

I_{TE-ET} – комплекс часових показників, які характеризують застосування БПС – річний фонд часу експлуатації, річні витрати на технічне обслуговування та ремонт, коефіцієнт технічного використання БПС, навчання екіпажу тощо [24, 25] (зазначимо, що при оцінках роботи БПС спільно із СБ доцільно його показники включати у показники I_{TE-EP} та I_{TE-ET});

I_{TE-EV} – комплекс показників, що оцінюють необхідну кількість БПА для державної закупівлі з урахуванням їх ремонтів та бойових втрат;

I_{TE-RP} , I_{TE-RT} – показники, які дають змогу оцінити витрати фінансових та часових ресурсів на ремонтні роботи БПА.

Залежності (1) – (9) утворюють перелік узагальнених показників MG ефективності застосування майбутньої БПС за призначенням та за умов розробки відповідних методик їх обчислення дають змогу формалізувати підготовку пропозицій до державного замовлення відносно оснащення ВМС Збройних Сил України сучасними буксируемими підводними системами.

Структура та склад узагальнених показників (1) – (9), отримана на основі системного підходу наведена на рис. 2.



Рис. 2. Структура і склад узагальнених показників ефективності БПС на стадії зовнішнього проектування

Отримані структура і склад показників утворюють теоретичну основу для формування вимог до створюваних БПС на стадії зовнішнього проектування нових зразків буксированої підводної техніки.

Розглянемо тепер приклади практичного використання узагальнених показників ефективності застосування БПС.

Зазначимо, що розробка методів обчислення кількісних значень узагальнених показників (1) – (9) є окремим прикладним науковим завданням. Тут у якості прикладу розглянемо один з основних показників ефективності застосування БПС – продуктивність $C_{TT-MCU} \in C_{TT}$ виконання підводних робіт $M_{MC-M} \in M_{MC}$ (моніторинг) одиночною БПС.

Нехай оперативному моніторингу на предмет виявлення морських мін підлягає донна поверхня прямокутної акваторії площею S , що має ширину B і довжину L . Прийнемо також, що обстеження заданої акваторії виконується системою «СБ – БПС» паралельними галсами довжиною L із коефіцієнтом «перекриття» $k_G > 1$ ширини b_G робочої зони пошукового обладнання БПА.

Тоді продуктивність C_{TT-MCU} обстеження акваторії можна представити відношенням площі акваторії S до часу обстеження T :

$$C_{TT-MCU} = \frac{S}{T} = \frac{k_G b_G L}{(t_G + t_R)} = \frac{k_G b_G L}{\left(\frac{L}{v_{CB}} + \frac{l_R}{v_R}\right)} = \frac{k_G b_G L}{\left(\frac{L}{v_{CB}} + \frac{\pi b_G}{k_G v_R}\right)}, \quad (10)$$

де t_G, t_R – відповідно, тривалість одного галсу СБ та тривалість розвороту СБ між сусідніми галсами; v_{CB} – швидкість буксирування «на галсі»; v_R, l_R – відповідно, середня швидкість руху та довжина шляху при переводі БПС на наступний галс (вважаємо кількість галсів парним).

Залежність (10) дає змогу попередньо (під час підготовки пропозицій державного замовлення) оцінити продуктивність оперативного моніторингу заданої акваторії при застосуванні одиночних БПС із різними технічними характеристиками.

Наприклад, якщо протимінна операція передбачає виконання моніторингу (розвідки) квадрату морської акваторії площею $S = 1,0$ кв. миля ($B = L = 1,0$ морська миля) із можливим використанням двох варіантів гідролокатора бічного огляду (ГБО), оснащення якими планується для БПА, тоді для оцінки її продуктивності згідно (10) складаємо наступну розрахункову таблицю:

Таблиця 1.

Тип ГБО	k_G	b_G , [м]	v_{CB} , [м/с]	v_R , [м/с]	l_R , [м]	C_{TT-MCU} , [м ² /с]
<i>EdgeTech 4200</i>	1,1	100	6,0	3,0	50,0	504,5
<i>SeaKing Towfish</i>	1,05	200	3,0	3,0	100,0	476,23

Тут прийнято, що СБ у разі переходу на наступний галс виконує розворот по півколу із радіусом b_G .

За результатами розрахунків отримуємо кількісні показники продуктивності під час застосування двох варіантів приладового забезпечення БПА, що дає змогу прийняти обґрунтоване рішення відносно цього показника на попередній стадії формування державного замовлення.

У якості прикладу розробки техніко-економічних показників (множина I_{TE}) розглянемо показник I_{TE-E} витрат на експлуатацію (завдання проведення оперативного моніторингу $M_{MC-M} \in M_{MC}$) за допомогою БПС, яку планується замовити для поставки на озброєння.

Розглянемо витрати на морську пошукову операцію із моніторингу m морських акваторій A_M . Для обстеження кожної акваторії A_{Mi} необхідно виконати n_{Gi} галсів ($i = 1, \dots, m$) та n_{Ri} розворотів СБ між сусідніми гал-

сами. Тому, має місце відношення: $n_{Gi} = \left[\frac{B_i}{k_G b_G} \right]$ (округлення до більшого цілого).

Позначимо через z_{Gi} витрати ресурсу системи «СБ – БПС» (часу, коштів або інших відповідно завданню розрахунку) на виконання одного повного галсу з розворотом для i – ої акваторії.

Якщо позначити множину морських акваторій A_{Mi} у вигляді вершин графа, а дистанції переходів між i – ю та $(i+1)$ – ю вершинами у вигляді дуг графа $L_{Mi(i+1)}$, то витрати ресурсів на перехід системи «СБ – БПС» між сусідніми акваторіями можна позначити через $z_{Li(i+1)}$.

Тоді загальні витрати ресурсів I_{TE-E} системи «СБ – БПС» на морську пошукову операцію із моніторингу m морських акваторій A_M можна представити у вигляді наступної суми витрат:

$$I_{TE-EP} = z_{B1} + \sum_{i=1}^m (n_{Gi} z_{Gi} + n_{Ri} z_{Ri}) + \sum_{i=1}^{m-1} z_{i(i+1)} + z_{B2}, \quad (11)$$

де z_{B1} , z_{B2} – витрати ресурсів на перехід, відповідно, із порту базування СБ до першої акваторії, яка підлягає моніторингу ($i=1$), та перехід від останньої акваторії ($i=m$) до порту базування СБ.

Нарешті, за необхідністю, на базі залежностей (10) – (11) легко визначається відносний показник продуктивності БПС:

$$\bar{C}_{TT-MCU} = C_{TT-MCU} / I_{TE-EP}. \quad (12)$$

Зазначимо, що розробка кожного з узагальнених показників ефективності (1) та їх складових є складним і трудомістким завданням. Однак, їх створення і застосування на стадії зовнішнього проектування дають змогу сформулювати науково обґрунтовані вимоги до державного оборонного замовлення на створення і впровадження у морську практику сучасних високопродуктивних БПС.

Розглянемо тепер результати застосування системного підходу для зовнішнього проектування БПС, використовуючи методологію SWOT-аналізу [26]. Вказана методологія також ґрунтується на системному підході до інноваційної діяльності, що дасть змогу оцінити отримані результати з єдиних науково-методичних позицій.

Strengths. Головною перевагою застосування системного підходу для зовнішнього проектування БПС слід вважати комплексне урахування головних чинників, які суттєво впливають на обрис майбутньої БПС як складової технічного забезпечення ВМС Збройних Сил України. Розгляд із єдиних методологічних позицій імовірних загроз державі з морського напрямку та методів технічного протистояння цим загрозам, а також уведен-

ня у розгляд множини показників ефективності застосування та основних технічних характеристик одиночної БПС забезпечують всебічне урахування специфіки їх застосування в цілях проведення підводних пошукових робіт.

Weaknesses. Слабкою стороною застосування системного підходу для зовнішнього проектування БПС можна вважати велику кількість невизначеностей у початкових даних та імовірнісний характер як, власне, загроз, так і оцінок ефективності застосовуваних методів протидії. Тому у подальшому необхідно створювати методики кількісної оцінки показників ефективності застосування БПС на основі широкого застосування математичного апарату теорії ймовірностей.

Opportunities. Основні можливості просування системного підходу у зовнішньому проектуванні БПС залежать від послідовності реалізації заходів, передбачених Морською доктриною України [21] та щорічними планами модернізації техніки для ВМС Збройних Сил України. Практична реалізація вказаних документів буде визначати потреби галузі у сучасних методах проектування засобів морської робототехніки і, зокрема, буксируваних підводних систем.

Threats. До основних загроз використання системного підходу на стадії зовнішнього проектування БПС можна віднести тимчасову відмову підприємств України від закупівлі БПС вітчизняного виробництва на користь придбання зарубіжної підводної робототехніки. Такий сценарій розвитку процесів модернізації озброєння і військової техніки у ВМС Збройних Сил України, однак, не виключає застосування розроблених узагальнених показників ефективності застосування БПС для обґрунтованого зарубіжного замовлення вказаної техніки.

Висновки

1. На основі методології системного підходу вперше розроблено структуру узагальнених показників ефективності застосування БПС, які утворюють методологічну основу для формування державного замовлення на проектування і створення таких систем в інтересах вітчизняних організацій, які ведуть виробничу діяльність на морі.
2. Вперше розроблено основні складові отриманих узагальнених показників ефективності застосування БПС, що утворює теоретичну основу для розробки методів їх кількісної оцінки на стадії зовнішнього проектування такого виду морської техніки.
3. Наведено приклади практичного використання деяких узагальнених показників ефективності застосування БПС для моніторингу морських акваторій, які дають змогу прийняти обґрунтоване рішення на попередній стадії формування державного замовлення.

4. Подальші дослідження планується виконувати у напрямку створення методик розрахунку усієї множини показників ефективності БПС як інструментального забезпечення процесів їх зовнішнього проектування.

Список використаної літератури

1. Поддубный, В. И., Шамарин, Ю. Е., Черненко, Д. А., Астахов, Л. С. (1995). Динамика подводных буксируемых систем. СПб: Судостроение, 200 с.
2. Buckham, B., Nahon, M., Seto, M., Zhao, X. & Lambert. C. (2003). Dynamics and control of a towed underwater vehicle system, part I: model development. *Ocean Engineering*, 30(4), 453-470. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(02\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(02)00029-X)
3. Издательский дом «Оружие и технологии» (2011). Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М., 780 с.
4. Катренко, А. В. (2000). Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації. Львів: Новий світ, 424 с.
5. Volodymyr Blintsov, & Olexandr Klochkov. (2019). Generalized Method of Designing Unmanned Remotely Operated Complexes Based on the System Approach. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, p. 43-51. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00878.
6. Алексеев, А. В., Борисов, А. Н., Слядзь, Н. Н., Суворов А. И. и Хабибуллин, Р. К. (1994). Исследовательское проектирование в кораблестроении на основе гибридных экспертных систем. Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы», №1. http://swwsys.ru/print/article_print.php?id=41.
7. Nekrasov, V. (2019). Conceptual Designins of Ships. Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 112 p. (in English).
8. Егоров, В. И. (1981). Подводные буксируемые системы. Л.: Судостроение, 304 с.
9. Иконников, И. Б., Гаврилов, В. М., и Пузырев, Г. В. (1993). *Подводные буксируемые системы и буи нейтральной плавучести*. СПб.: Судостроение, 224 с.
10. Виноградов, Н. И., Гутман, И. Г., Лев, М. Л. и Нисневич, М. З. (2000). Привязные подводные системы. Прикладные задачи статики и динамики. СПб: СПб ун-та, 324 с.
11. Кувшинов, Г. Е. (2005). Системы управление глубиной погружения буксируемых объектов. Владивосток: Дальнаука, 285 с.
12. Linklater, Amy. (2005). Design and Simulation of a Towed Underwater Vehicle . Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science In Aerospace Engineering. Blacksburg, Virginia, 120 P.

- Retrieved from: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/33622/AmyThesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
13. Jenny Collier, & Chris McGonigl. (2011). Examining the relationship between acoustic backscatter and physical properties of the seabed. Technical Report. London: Imperial College, 216 Pages. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/280831946_Examining_the_relationship_between_acoustic_backscatter_and_physical_properties_of_the_sea_bed
 14. Блінцов, В. С., Киристюк О. М., Красних О. В. та Яким'як С. В. (2012). Безекіпажна військово-морська техніка – стан та оснащення ВМС ЗС України. «Наука і оборона», 4, с. 61-64.
 15. Dr. Kevin Williams. (2016). Limited Scope Design Study for Multi-Sensor Tow Body. DoD's Environmental Programs. University of Washington. Retrieved from: <https://www.serdp-estcp.org/Program-Areas/Munitions-Response/Munitions-Underwater/MR-2501>.
 16. Triantafyllou, Michael S., & Franz S. Hover. *Maneuvering and Control of Marine Vehicles*. Towing of Vehicles. Retrieved from: <https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-154-maneuvering-and-control-of-surface-and-underwater-vehicles-13-49-fall-2004/lecture-notes/lec14.pdf>.
 17. 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*, 5/9 (101), 15-26. DOI: 10.15587 / 1729-4061.2019.179486.
 18. Masayoshi Toda. (2005). A Theoretic Analysis of a Control System Structure of Towed Underwater Vehicles. *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005*. Seville, Spain, Pages 7526-7533 Retrieved from: <http://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/cdc-ecc05/pdf/papers/0998.pdf>.
 19. Oleksandr Blintsov, Volodymyr Sokolov, Pavel Kucenko. (2019). Formulation of Design Tasks of Towed Underwater Vehicles Creation for Shallow Water and Automation of their Motion Control. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2. 30-42. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00854.
 20. Морська стратегія держави. Розвиток та реалізація морського потенціалу України. (2019). Матеріали міжнародного наукового форуму. К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 156 с.
 21. Морська доктрина України на період до 2035 року. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 1307 (у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 18 грудня 2018 р. № 1108). Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-vnesennya-zmin-do-morskoyi-doktrini-ukrayini-na-period-do-2035-roku>.

22. Міжнародний науковий форум «Морська стратегія держави. Розвиток та реалізація морського потенціалу України». Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського. Київ, 2019.
23. Rainer Kummerle, Bastian Steder, Christian Dornhege, Michael Ruhnke, Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, & Alexander Kleiner. (2009). On Measuring the Accuracy of SLAM Algorithms. *Autonomous Robots*. 27(4), 387-407. Retrieved from: <http://www2.informatik.uni-freiburg.de/~stachnis/pdf/kuemmerle09auro.pdf>.
24. J. Scott Willcox, Member, IEEE, James G. Bellingham, Yanwu Zhang, Member, IEEE, and Arthur B. Baggeroer. (2001). Performance Metrics for Oceanographic Surveys With Autonomous Underwater Vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 26 (4), 711-725. DOI: 10.1109/48.972114
25. Alexander Inzartsev. (2009). Underwater Vehicles. In-Tech. Vienna, 582 Pages.
26. Балабанова, Л. В. (2005). SWOT-аналіз – основа формування маркетингових стратегій. К.: Знання, 301 с. (Вища освіта XXI ст.).

Spysok vykorystanoyi literatury

1. Poddubnyy, V. I., Shamarin, YU. Ye., Chernenko, D. A., Astakhov, L. S. (1995). *Dinamika podvodnykh buksiruyemykh sistem*. SPb: Sudostroyeniye, 200 s.
2. Buckham, B., Nahon, M., Seto, M., Zhao, X. & Lambert. C. (2003). Dynamics and control of a towed underwater vehicle system, part I: model development. *Ocean Engineering*, 30(4), 453-470. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(02\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(02)00029-X)
3. Izdatel'skiy dom «Oruzhiye i tekhnologii» (2011). *Podvodnyye tekhnologii i sredstva osvoyeniya Mirovogo okeana*. M., 780 s.
4. Katrenko, A. V. (2000). *Sistemniy analiz ob'ektiv ta protsesiv komp'yuterizatsii*. L'viv: Noviy svit, 424 s.
5. Volodymyr Blintsov, & Olexandr Klochkov. (2019). Generalized Method of Designing Unmanned Remotely Operated Complexes Based on the System Approach. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, p. 43-51. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00878.
6. Alekseyev, A. V., Borisov, A. N., Slyadz', N. N., Suvorov A. I. i Khabibullin, R. K. (1994). *Issledovatel'skoye proyektirovaniye v korablestroyenii na osnove gibridnykh ekspertnykh sistem*. *Mezhdunarodniy nauchno-prakticheskiy zhurnal «Programmnyye produkty i sistemy»*, №1. http://swsys.ru/print/article_print.php?id=41.
7. Nekrasov, V. (2019). *Conceptual Designins of Ships*. Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 112 p. (in English).
8. Yegorov, V. I. (1981). *Podvodnyye buksiruyemyye sistemy*. L.: Sudostroyeniye, 304 s.

9. Ikonnikov, I. B., Gavrilov, V. M., i Puzyrev, G. V. (1993). Podvodnyye buksiruyemyye sistemy i bui neytral'noy plavuchesti. SPb.: Sudostroyeniye, 224 s.
10. Vinogradov, N. I., Gutman, I. G., Lev, M. L. i Nisnevich, M. Z. (2000). Privyaznyye podvodnyye sistemy. Prikladnyye zadachi statiki i dinamiki. SPb: SPb un-ta, 324 s.
11. Kuvshinov, G. Ye. (2005). Sistemy upravleniye glubinoi pogruzeniya buksiruyemykh ob'yektov. Vladivostok: Dal'nauka, 285 s.
12. Linklater, Amy. (2005). Design and Simulation of a Towed Underwater Vehicle . Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science In Aerospace Engineering. Blacksburg, Virginia, 120 P.
Retrieved from: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/33622/AmyThesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
13. Jenny Collier, & Chris McGonigl. (2011). Examining the relationship between acoustic backscatter and physical properties of the seabed. Technical Report. London: Imperial College, 216 Pages. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/280831946_Examining_the_relationship_between_acoustic_backscatter_and_physical_properties_of_the_sea_bed
14. Blintsov, V. S., Kyryzyuk O. M., Krasnykh O. V. ta Yakym"yak S. V. (2012). Bezekipazhna viys'kovo-mors'ka tekhnika – stan ta osnashchennya VMS ZS Ukrayiny. «Nauka i oborona», 4, c. 61-64.
15. Dr. Kevin Williams. (2016). Limited Scope Design Study for Multi-Sensor Tow Body. DoD's Environmental Programs. University of Washington. Retrieved from: <https://www.serdp-estcp.org/Program-Areas/Munitions-Response/Munitions-Underwater/MR-2501>.
16. Triantafyllou, Michael S., & Franz S. Hover. *Maneuvering and Control of Marine Vehicles*. Towing of Vehicles. Retrieved from: <https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-154-maneuvering-and-control-of-surface-and-underwater-vehicles-13-49-fall-2004/lecture-notes/lec14.pdf>.
17. 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, 5/9 (101), 15-26. DOI: 10.15587 / 1729-4061.2019.179486.
18. Masayoshi Toda. (2005). A Theoretic Analysis of a Control System Structure of Towed Underwater Vehicles. Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005. Seville, Spain, Pages 7526-7533 Retrieved from:

- <http://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/cdc-ecc05/pdf/files/papers/0998.pdf>.
19. Oleksandr Blintsov, Volodymyr Sokolov, Pavel Kucenko. (2019). Formulation of Design Tasks of Towed Underwater Vehicles Creation for Shallow Water and Automation of their Motion Control. EUREKA: Physics and
 20. Mors'ka stratehiya derzhavy. Rozvytok ta realizatsiya mors'koho potentsialu Ukrayiny. (2019). Materialy mizhnarodnoho naukovofo forumu. K.: NUOU im. Ivana Chernyakhivs'koho, 156 s.
 21. Mors'ka doktryna Ukrayiny na period do 2035 roku. Zatverdzheno postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 7 zhovtnya 2009 r. № 1307 (u redaktsiyi postanovy Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 18 hrudnya 2018 r. № 1108). Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-vnesennya-zmin-do-morskoyi-doktrini-ukrayini-na-period-do-2035-roku>.
 22. Mizhnarodnyy naukovyy forum «Mors'ka stratehiya derzhavy. Rozvytok ta realizatsiya mors'koho potentsialu Ukrayiny». Natsional'nyy universytet obrony Ukrayiny imeni Ivana Chernyakhivs'koho. Kyiv, 2019.
 23. Rainer Kummerle, Bastian Steder, Christian Dornhege, Michael Ruhnke, Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, & Alexander Kleiner. (2009). On Measuring the Accuracy of SLAM Algorithms. *Autonomous Robots*. 27(4), 387-407. Retrieved from: <http://www2.informatik.uni-freiburg.de/~stachnis/pdf/kuemmerle09auro.pdf>
 24. J. Scott Willcox, Member, IEEE, James G. Bellingham, Yanwu Zhang, Member, IEEE, and Arthur B. Baggeroer. (2001). Performance Metrics for Oceanographic Surveys With Autonomous Underwater Vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 26 (4), 711-725. DOI: 10.1109/48.972114
 25. Alexander Inzartsev. (2009). Underwater Vehicles. In-Tech. Vienna, 582 Pages.
 26. Balabanova, L. V. (2005). SWOT-analiz – osnova formuvannya marketynhovykh stratehiy. K.: Znannya, 301 s. (Vyshcha osvita KHKHI st.).