

Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова

Д 38.060.01

УДК 629.127

Костенко Дмитро Валерійович

**ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИВ'ЯЗНИХ ПІДВОДНИХ СИСТЕМ НА ЇХНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Спеціальність 05.08.03 - Механіка та конструювання суден

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Миколаїв - 2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник Доктор технічних наук, професор, Блінцов Володимир Степанович, Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, завідувач кафедри електрообладнання суден

Офіційні опоненти Доктор технічних наук, професор, Сліжевський Микола Борисович, Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, завідувач кафедри гідромеханіки

Кандидат технічних наук, доцент, Новіков Анатолій Іванович, Севастопольський національний технічний університет, доцент кафедри океанотехніки та кораблебудування

Провідна установа Одеський національний морський університет Міністерства освіти і науки України, м. Одеса.

Захист відбудеться 1 липня 2003 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 327025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграду, 9.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 327025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграду. 9.



Рижков С.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Сутність і стан науково-технічної задачі. Дисертація присвячена вирішенню актуальної прикладної задачі морської техніки - підвищенню продуктивності пошуково-обслідницьких підводних робіт (ПОПР), виконуваних з використанням прив'язних підводних систем (ППС). Такі системи знайшли широке застосування в підводних технологіях і містять у найпростіших випадках самохідний підводний апарат (ПА), кабель-трос (КТ) та розташований на судні-носії (СН) пост енергетики і керування системою. Більш складна система містить додатково буксирований підводний апарат-заглибник (ПАЗ), кабель-буксир (КБ) для його буксирування судном-носієм, буксирний трос (БТ) для з'єднання ПАЗ із самохідним ПА в режимі буксирування. Власне буксировані системи з несамохідними підводними апаратами не досліджуються.

Проектуванню ПА присвячена значна кількість досліджень, однак публікацій з проектування ППС порівняно мало. Серед них лише незначна частина відноситься до ППС із самохідними прив'язними ПА. Це роботи М.Д. Агєєва, В.С. Блінцов, А.М.Вашедченка, 8.Е. Магули, В.І. Піддубного, М.Б. Сліжевського, В.С. Челишева, Ю.Є. Шамаріна, В.С. Ястребова. Роботи згаданих та інших авторів містять теоретичні дослідження гідромеханіки ПА і його КТ, що дозволяють з тією чи іншою точністю визначати силові й геометричні характеристики цих об'єктів у потоці води, проектні характеристики ПА на ранній стадії їхнього створення. У той же час майже відсутні роботи, у яких конструктивні параметри ППС узгоджувалися б з технологією виконуваних ними підводних робіт. Не висвітлені в літературі і задачі енергетичного плану; енергетичні параметри не зв'язуються з технологічними операціями, немає чіткого визначення способу встановлення розрахункової швидкості потоку для ППС при роботі з СН, що рухається, і з нерухомого СН за наявності течії.

Актуальність теми. У територіальних водах України і країн СНД є значний обсяг ПОПР, обумовлений наявністю Існуючих та будівництвом нових об'єктів освоєння шельфу, гідротехнічних об'єктів, необхідністю вирішення низки природоохоронних завдань. До них належать обстеження морських трубопроводів, підводних кабелів зв'язку, випускних колекторів очисних споруд і підводної частини гідротехнічних споруд, обстеження донної поверхні перед прокладкою трубопроводів та встановленням морських платформ, виконання підводних будівельно-монтажних робіт; пошук і знешкодження затонулих зразків звичайної і хімічної зброї та ін.

Перераховані ПОПР виконуються на протяжних об'єктах (підводних кабелях, трубопроводах) та на великих площах поверхні дна і вимагають значних витрат часу (від кількох діб до кількох тижнів). У зв'язку з високою рейсовою вартістю СН і сезонними обмеженнями морських робіт одним з основних критеріїв ефективності виконання ПОПР є їхня продуктивність. Головними причинами низької продуктивності для більшості ПОПР є низька швидкість руху ПА при наявності течії та тривалі допоміжні операції (постановка СН на якор, перешвартування, спуско-піднімальні операції ПА).

Підвищення продуктивності ПОПР можливе шляхом обґрунтованого вибору експлуатаційних характеристик ППС, виходячи з технології їхнього застосування, що може бути забезпечене науково обґрунтованим вибором конструктивних параметрів ППС на стадії проектування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Напрямок дослідження дисертації належить до основних наукових напрямків Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова (УДМТУ) і є складовою

частиною досліджень Центру підводної техніки УДМТУ в рамках комплексної НДР «Розробка теоретичних основ механіки систем освоєння океану і шельфу України», номер державної реєстрації 0100U001907.

Прикладне значення дисертації пов'язане з наступними програмами:

Національною програмою досліджень і використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну, Інших районів Світового океану на період до 2000 року (розділ цільового комплексного проекту "Пошук");

Державною програмою пошуку і знищення залишків хімічної зброї, затопленої в особливій (морській) економічній зоні України на 1997-2002 роки (завдання "Пошук, обстеження і документування підводних об'єктів з використанням дистанційно керованого підводного апарата");

Державною програмою "Освоєння вуглеводневих ресурсів в українському секторі Чорного й Азовського морів" Держкомнафтогазпрому України (окреме завдання зі створення і введення в експлуатацію ненаселених підводних апаратів).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення проектування та розрахунків прив'язних підводних систем із самохідними апаратами на підставі визначення взаємозв'язку між конструктивними параметрами й експлуатаційними характеристиками, що забезпечує підвищення продуктивності таких систем з урахуванням особливостей застосування.

Для досягнення цієї мети поставлені і вирішені наступні основні задачі:

1. Обґрунтування шляхів підвищення продуктивності ПОПР.
2. Розробка математичної моделі комбінованої пошуково-обслідницької ППС із використанням математичних моделей гнучкої нитки і твердого тіла в потоці.
3. Розробка прикладних програм для аналізу силових та енергетичних характеристик пошуково-обслідницьких ППС.
4. Розробка методики визначення конструктивних параметрів одноланкової пошуково-обслідницької ППС при русі самохідного ПА перпендикулярно до діаметральної площини системи.
5. Розробка методики визначення конструктивних параметрів одноланкової пошуково-обслідницької ППС із самохідними ПА, що забезпечує задану робочу зону (при обстеженні донної поверхні з якірними стоянками).
6. Розробка методики вибору конструктивних параметрів пошуково-обслідницьких ППС, що забезпечують синхронний рух СН і самохідного ПА при максимальній швидкості потоку (комбіновані ППС).

Об'єом дослідження є механіка традиційної одноланкової та запропонованої автором комбінованої ППС із самохідними ПА при урахуванні умов їх використання.

Предметом дослідження є вплив конструктивних параметрів ППС (довжини гнучких зв'язків, просторова конфігурація й склад ППС, упори та потужності рушіїв самохідного ПА на їхні експлуатаційні характеристики (швидкість переміщення ПА, розміри робочої зони ПА, запас по упорах для маневрування та ін.).

Методи дослідження: математичне моделювання стаціонарних і динамічних режимів роботи ППС із використанням нелінійних диференціальних рівнянь, чисельних методів розв'язання систем диференціальних рівнянь на ЕОМ, натурні випробування практично створених за участю автора ППС у морських умовах.

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше складено і досліджено математичну модель (з використанням плоскої моделі нитки в потоці), що описує геометричний стан і силові характеристики запропонованої автором комбінованої ППС, яка може використовуватися для робіт на плоских і протяжних підводних об'єктах;

встановлено особливості динамічних режимів комбінованої ППС, що включають розрахунок зусиль в елементах системи при несвоєчасному переході самохідного прив'язного підводного апарата на режим з'єднання з буксирним тросом і розрахунок динаміки його переходу в самохідний режим; визначено основні залежності, що зв'язують силові і геометричні характеристики комбінованої ППС;

визначено вплив конструктивних параметрів одноланкової ППС (довжина кабель-троса і взаємне розташування ПА та СН) на підвищення її експлуатаційних характеристик (максимальну продуктивність і мінімальні енергозатрати) при роботі в потоці води.

Наукові положення і результати, що виносяться на захист: комбіновані прив'язні підводні системи при виконанні підводних робіт на плоских і протяжних підводних об'єктах забезпечують на 25...40 % вищу продуктивність у порівнянні з одноланковими ППС, при тій же швидкості потоку комбінована система в два-три рази менш енергоємна, ніж одноланкова.

Вірогідність результатів досліджень забезпечена їхнім одержанням трьома розрахунковими методами: аналітичним і методом дугової апроксимації лінії кабель-троса для найпростішого окремого випадку, розв'язанням системи диференціальних рівнянь рівноваги гнучкої нитки методом Рунге-Кутта; порівнянням результатів розрахунків з обробленими даними натурних вимірів, а також успішною експлуатацією розроблених ППС.

Практичне значення отриманих результатів:

теоретичні результати роботи впроваджені при проектуванні ППС серій "The North Star" І "Искатель". при розробці нових і вдосконалюванні відомих технологій виконання пошукових та інспекційних робіт на Чорному й Азовському морях, на річках Крайньої Півночі Росії;

запропонована, створена і випробувана в натурних умовах комбінована ППС, що реалізує високопродуктивну технологію ПОПР; розроблена методика проектних розрахунків комбінованої ППС;

рекомендації автора використані при проектуванні й експлуатації нових зразків підводної техніки, створюваних в УДМТУ для Академії наук суднобудування України, в/ч А-1845 (Україна), ТОВ "СФУМАТО" (Росія), Міжнародного договору "Експедиція підводних робіт особливого призначення" (Україна, Кіпр);

отримані в роботі результати використовуються при підготовці студентів УДМТУ, що спеціалізуються в галузі океанотехніки за напрямками 1002 "Кораблі та океанотехніка" 10922 "Електромеханіка" Міністерства освіти і науки України.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на 11 науково-технічних конференціях, з'їздах, семінарах, у тому числі на 1-й і 2-й міжнародних науково-технічних конференціях "Проблеми енергозбереження й екології в суднобудуванні", Миколаїв, УДМТУ, 1996-1997 рр.; на 1-му Всеукраїнському з'їзді Теорія механізмів, машин і техносфера України ХХ сторіччя,

Харків, 1997 р.; на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу МКІ-УДМТУ в 1994, 1996, 1998, 2000 рр.; на Міжнародному науково-практичному симпозиумі (100-річчю Чорноморського суднобудівного заводу присвячується), Миколаїв, 1997 р.; на Міжнародній конференції про розвиток і використання полярних регіонів POLARTECH'96, С.-Петербург, Росія, 1996 р.; на 4-й Українській конференції: "по автоматичному керуванню, Черкаси, 1997 р.; на міжнародній конференції "Кораблебудування: освіта, наука, виробництво", Миколаїв, 2002 р.

Публікації. З теми дисертації опубліковано 13 друкованих наукових праць. Основні результати досліджень викладені в п'яти статтях (три без співавторів), надрукованих у наукових фахових виданнях. Основні публікації, у яких додатково викладені результати дисертації, включають одну статтю (у співавторстві), три праці наукових конференцій (дві без співавторів), чотири тези наукових конференцій (дві без співавторів).

Особистий внесок здобувача підтверджують три основні і чотири додаткові самостійні наукові публікації, у яких викладені математичні моделі одноланкової і комбінованої ППС, результати обчислювальних та натурних експериментів. У роботі [1] автором виконане розробка програми й методики експериментальних досліджень, обробка результатів; у роботі [2] - складання математичної моделі, розрахунки на ПЕОМ; у роботі [6] - розробка алгоритму та програмного забезпечення для ПЕОМ; у роботах [7, 8, 13] - дослідження математичної моделі ППС.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'ять розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 72 найменування, додатків. Обсяг дисертації - 132 сторінки машинописного тексту, 42 рисунка, 9 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності дисертаційної роботи, її основну мету, вирішені задачі, отримані наукові результати, що виносяться на захист, зв'язок з науковими програмами, наукову новизну і практичну цінність.

У *першому розділі* охарактеризовані виконувані з використанням ППС підводні операції (обстеження, вимір характеристик підводних об'єктів, закріплення на підводних об'єктах апаратури і пристроїв, підйом об'єктів). Дано класифікацію рухів ПА при виконанні підводних операцій, визначені основні об'єкти підводних операцій. Сформульовано критерії якості ППС: продуктивність проведення робочих операцій (корисної роботи) протягом одного операційного циклу; продуктивність проведення робочих операцій за певний проміжок часу (доба, місяць, сезон); енергозатрати ПА, пов'язані з призначенням потужності його ходових двигунів, та енергозатрати, що визначають переріз кабель-троса; номенклатура виконуваних підводних робіт.

Наведено основні схеми досліджуваних систем: одноланкових, дволанкових із привантажем і комбінованої із заглибником, підводним апаратом на кабель-тросі і буксирному канаті, що віддається на ходу. Дано оцінку тривалості операцій з підводною системою. Обґрунтовано основну мету дослідження і шляхи її досягнення. Показано, що продуктивність ППС в основному визначається швидкістю руху ПА. На основі аналізу гідродинамічного опору елементів ППС у потоці показана можливість пошуку енергетичного мінімуму для ППС у потоці - такого положення КТ у просторі, при якому сумарна механічна потужність приводів рухів ПА мінімальна. Якщо

вдається знизити цю потужність у k разів при швидкості потоку V , це означає, що при тій же потужності рушіїв ППС може працювати при швидкості потоку $\sqrt{k}V$. При роботі з якірної стоянки істотний вплив на продуктивність робить відносна тривалість допоміжних операцій. Це обумовлює ще одну можливість збільшення продуктивності ПОПР при такій технології - збільшення розмірів робочої зони, досяжної ПА з однієї якірної стоянки.

У другому розділі побудована загальна теоретична база дисертаційної роботи.

Наведено різні форми рівнянь рівноваги гнучкої нитки в потоці в стаціонарному стані, за основу взято систему рівнянь у натуральній формі

$$T/R = q_n, \quad dT/ds = -q_t, \quad \text{де } T - \text{натяг}; \quad R = ds/d\alpha - \text{радіус кривизни};$$

q_n, q_t - нормальна і тангенціальна складові розподілених сил, що

$R = ds/d\alpha$ - радіус кривизни; q_n, q_t - нормальна і тангенціальна складові розподілених сил, що діють на КТ; s - перемінне значення довжини КТ; α - кут між нормаллю до КТ і вертикальною віссю z .

На основі цих рівнянь складена узагальнена математична модель ППС, що дозволяє досліджувати властивості як одноланкової, так і комбінованої ППС. Математична модель реалізована трьома способами: аналітичним і чисельним методом дугової апроксимації для найпростішого окремого випадку, чисельним методом Рунге-Кутта. На їхній основі розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення у середовищі MathCad 6 для дослідження і проектування ППС у стаціонарному стані, засноване на обчисленні великих масивів шуканих змінних і сортуванні отриманих результатів за призначуваними проектантом критеріями.

На відміну від відомих розрахункових схем, як параметр узятو потужність електроприводів підводного апарата. Здійснено перехід до споживаної потужності комплексу

На відміну від відомих розрахункових схем, як параметр узято потужність електроприводів підводного апарата. Здійснено перехід до споживаної потужності комплексу

$$P = \frac{P_{ПА} + P_{КТ}}{\eta_{пр1}} + P_{п.к}, \quad \text{де } P_{ПА} = \left(\frac{P_m}{\eta_{дв} \eta_{с.к}} + P_{дод} \right) \frac{1}{\eta_{пр}} - \text{споживана потужність підводного апарата,}$$

$\eta_{дв}, \eta_{с.к}, \eta_{пр}, \eta_{пр1}$ - ККД двигунів, системи керування двигунів, вхідного перетворювача енергії на ПА, перетворювача енергії, подаваної в КТ; $P_{дод}$ - додаткова споживана потужність (сервоприводи, світильники та ін.); $P_{КТ}$ - утрати потужності в КТ; $P_{п.к}$ - споживана потужність поста керування. Потужність P_m визначається потужностями приводів маршових P_x , вертикальних P_z і бічних P_y рушіїв, однак підсумовуються тільки потужності одночасно працюючих приводів. Потужність приводів маршових рушіїв знаходили як $P_x = F_x V / \eta$; лагових і вертикальних - $P = k \cdot D_p^2 \cdot v_a^3$, де $v_a = 0,035 \cdot F^{1/2} / D_p$ - швидкість потоку в каналі; F - упор відповідного рушія; η - ККД рушія, $k = 0,94 \dots 1,15$ - розмірний коефіцієнт; D_p - діаметр каналу рушія.

Розроблені методики визначення потужностей, довжини КТ, взаємного розташування СН і ПА засновані на висновках, зроблених після дослідження математичної моделі ППС. Оцінювати вірогідність моделі дозволяє порівняння її результатів з експериментальними даними. Тому дослідну перевірку теоретичного підходу здійснювали шляхом вимірів силових та енергетичних характеристик реальної ППС у реальних природних умовах, розрахунку таких характеристик з використанням математичної моделі, порівняння розрахункових та експериментальних даних.

Для натурних експериментів обирали акваторії, які мають сталий напрямок і швидкість течії за глибиною. Було виконано вимір швидкості течії річки і її епюри за глибиною; визначено взаємне розташування судна-носія і ПА; визначено геометричні, енергетичні та інші характеристики комплексу "The North Star", що в математичній моделі є вихідними даними; виконано вимір силових та енергетичних характеристик системи.

При проведенні здавальних випробувань ПА "The North Star" у 1996 році заміряли споживану ПА потужність і натяги на корінному кінці КТ на р. Єнісей. Схема проведення експерименту показана на рис. 1. Судно-носіє ставилося на якір над трубопроводом за допомогою ехолота і берегових орієнтирів (реперів) за допомогою далекоміра. ПА занурювався на дно в точку, розташовану під судном-носієм. Експеримент проводився в трьох точках річки з глибинами 52, 38 і 16 м, при швидкостях течії відповідно 0,87, 0,81 і 0,73 м/с. Була виконана серія вимірів спожива-

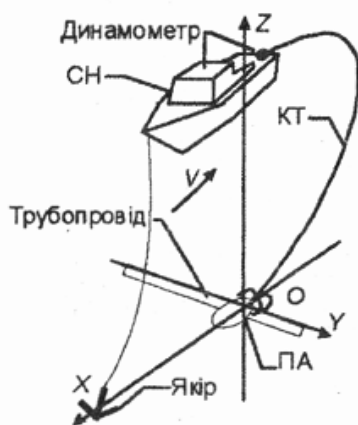


Рис. 1. Схема проведення експерименту

ної потужності при різних довжинах попущеної частини КТ, починаючи з її максимальної довжини. Аналогічний експеримент було проведено у 1998 році з метою оцінки стану ПА після дворічної експлуатації. При проведенні експерименту використовувалися ті ж прилади й устаткування, умови проведення експерименту: глибина – 28 м, швидкість течії – 0,38 м/с. Для порівняння розрахункових і експериментальних силових характеристик розглянуті залежності натягу на корінному кінці кабель-троса від його довжини, віднесеної до глибини. Дані залежності для всіх трьох випадків показані на рис. 2. Як видно, виміряні і розраховані силові характеристики системи ППС (натяг на корінному кінці кабель-троса) близькі, похибка складає менш 10 %.

Наявна похибка в основному обумовлена неточністю прийнятих коефіцієнтів гідродинамічного опору. Розрахункові й експериментальні залежності споживаної ПА потужності наведені на рис. 3. Як видно з графіка, розрахункові й експериментальні залежності мають значні розбіжності. Це викликано невідповідністю математичної моделі використаним на ПА рушіям та двигунам.

Розрахункова й експериментальна залежності натягу на корінному кінці КТ від його довжини, отримані в другому експерименті, показані на рис. 4, де видно, що вони близькі, розбіжності складають 10...15 %. Причини такої похибки: неточність гідродинамічних коефіцієнтів, інструментальна похибка, викликана вібрацією частини КТ у потоці води, вплив ваги надводної ділянки КТ. Експериментальна і розрахована залежності споживаної потужності від довжини кабель-троса показані на рис. 5.

Розрахункова залежність побудована з урахуванням особливостей конструкції конкретного ПА. Як видно з графіка, форма двох залежностей дуже близька, відмінність на постійну величину близько 200 Вт викликана додатковими втратами на тертя в недостатньо прироблених приводах рушіїв ПА.

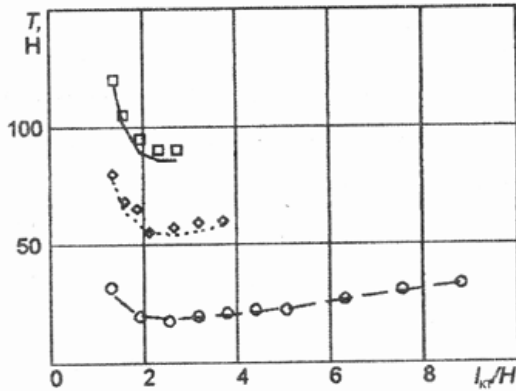


Рис. 2. Натяг на корінному кінці КТ:
— $l_{KT} = 52$ м, $l_{KT} = 38$ м, — $l_{KT} = 16$ м (розрахунок); $\square\square\square l_{KT} = 52$ м, $\diamond\diamond\diamond l_{KT} = 38$ м, $\circ\circ\circ l_{KT} = 16$ м (експеримент)

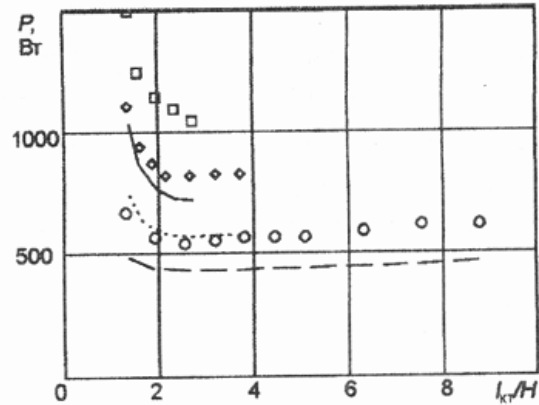


Рис. 3. Споживана потужність ППС:
— $l_{KT} = 52$ м, $l_{KT} = 38$ м, — $l_{KT} = 16$ м (розрахунок); $\square\square\square l_{KT} = 52$ м, $\diamond\diamond\diamond l_{KT} = 38$ м, $\circ\circ\circ l_{KT} = 16$ м (експеримент)

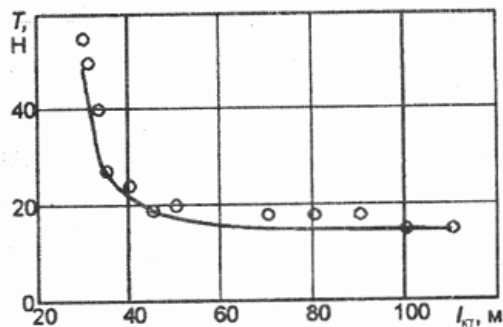


Рис. 4. Натяг на корінному кінці КТ:
— розрахунок; $\circ\circ\circ$ — експеримент

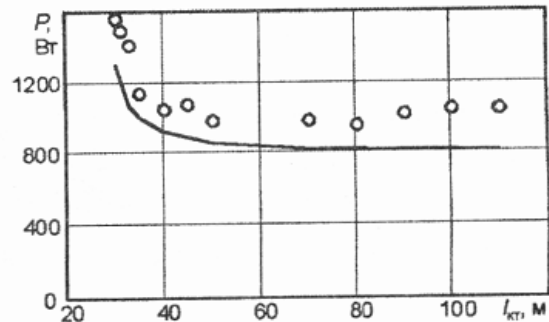


Рис. 5. Споживана потужність ППС:
— розрахунок; $\circ\circ\circ$ — експеримент

У третьому розділі об'єктом дослідження є одноланкові ППС. Виконано аналіз одноланкових систем при різних технологічних схемах роботи: при розташуванні ПА під точкою кріплення його КТ на судні, при повільному переміщенні ПА в діаметральній площині, при роботі ПА на горизонтальній площині.

Перша з цих схем характерна при обслуговуванні підводним апаратом усть свердловин, при ремонтних роботах на трубопроводах, підйомі з дна об'єктів. Таку схему часто беруть як базову при проектуванні ППС. Тут використаний базовий аналітичний розв'язок В.С. Блінцова і В.Е. Магули з його розширенням у бік урахування різних проектних параметрів. Довжина КТ l_{KT} , натяг у ньому T , горизонтальна N_x і вертикальна N_z сили на ПА та співвідношення між ними записані в безрозмірній формі: $\lambda_H = l_{KT}/H$; $\bar{N}_x = N_x/a_n l_{KT}$; $\bar{N}_z = N_z/a_n l_{KT}$; $\bar{T} = T/a_n l_{KT}$. Причому враховувалися нормальні і дотичні сили на КТ та позначено $a_n = 0,5C_n \rho d v^2$;

$a_i = 0,5C_i\rho dV^2$; $N_x = F_x - R_x$; $N_z = F_z$; $R_x = 0,5C_x\rho V^2 S_x$, де S_x – площа міделевої проєкції ПА; R_x – буксирувальний опір ПА; V – швидкість потоку; C_x – коефіцієнт лобового опору ПА; C_n, C_t – коефіцієнти нормальної і тангенціальної складових опору КТ; ρ – густина середовища. Розв'язок знаходили аналітичним і чисельним методами.

На основі цих залежностей побудована таблиця, що поєднує всі безрозмірні величини в реально можливому діапазоні відносної довжини КТ λ_H . Таблиця дозволяє обчислити для розглянутого режиму значення всіх зусиль у системі. За результатами аналітичного і чисельного розв'язань досліджені можливі значення частки опору кабель-троса в загальному опорі системи $\bar{R}_{КТ}$. Для підводних апаратів різної маси при трьох відносних довжинах КТ і двох глибинах побудована табл. 1.

Таблиця 1

Частка гідродинамічного опору КТ $\bar{R}_{КТ}$ в опорі ППС, %						
Тип ПА	$\lambda_H = 1,1$		$\lambda_H = 1,75$		$\lambda_H = 2,55$	
	$H = 100$ м	$H = 500$ м	$H = 100$ м	$H = 500$ м	$H = 100$ м	$H = 500$ м
Надмалий	82	96	72	93	67	91
Малий	73	93	62	89	55	86
Середній	54	85	41	77	35	73
Великий	39	76	27	65	22	59

Як видно з формул і табл. 1, значення $\bar{R}_{КТ}$ не залежить від швидкості потоку. Частка опору КТ зростає із збільшенням глибини розташування ПА, падає зі збільшенням маси ПА, складаючи 60...90 % і більше для малих апаратів, 35...75 % для середніх і 20...75 % для великих ПА. Більш положистим КТ (малі відносні довжини) відповідають більші $\bar{R}_{КТ}$ при однакових заглибленнях.

Досліджено схему роботи ПА вздовж горизонтальної осьової лінії, розташованої в діаметральній площині системи. Такий рух характерний при обстеженні підводних трубопроводів, кабелів, траншей. Розрахункові переміщення побудовані при допущеннях про невагомість КТ у воді, відсутність дотичної складової зовнішніх сил на КТ; використані результати аналітичного розв'язання. Чисельне розв'язання системи дозволило побудувати три серії кривих: $\bar{T}(\bar{x})$, $\bar{N}_x(\bar{x})$, $\bar{N}_z(\bar{x})$ для трьох відносних глибин ПА, тобто для трьох відносних довжин КТ: 1,25; 1,667; 2,5.

Виявилось, що при відхиленні ПА в ніс чи корму від точки підвісу КТ на судні на величину близько 24 % від довжини кабель-троса зусилля ПА змінюються незначно, приблизно до 10...15 %. Подальше відхилення підводного апарата проти течії приводить до різкого зростання подовжнього зусилля N_x і менш інтенсивного N_z . Відхилення ПА за течією на величину, більшу від $\bar{x}_1$, викликає інтенсивне зростання потрібної заглиблювальної сили $\bar{N}_z$ і різкий спад зусилля $\bar{N}_x$. Очевидно, існує точка енергетичного мінімуму стану ПА. Подальше дослідження показало, що у залежності від довжини КТ точка енергетичного мінімуму може бути як нижче, так і вище за

течією від проєкції СН на донну поверхню (рис. 6). Цю особливість необхідно враховувати на стадії експлуатації ППС.

Методика визначення конструктивних параметрів ППС при русі ПА перпендикулярно до діаметральної площини системи. Судно-носій утримується нерухомо відносно дна, ПА покриває робочу зону, рухаючись поперечними галсами. Даний режим руху використовується і при підлідних зануреннях ПА через лунки. Визначення меж робочої зони виконано в двох варіантах.

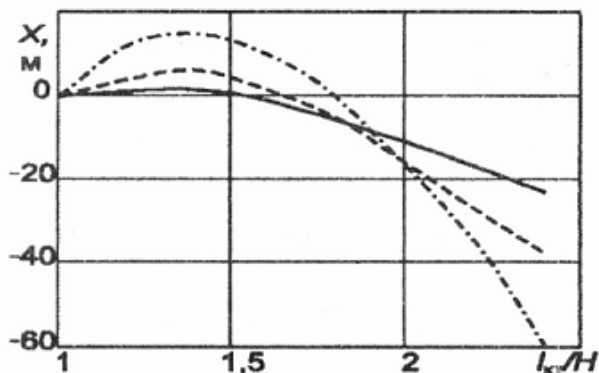


Рис. 6. Положення енергетичного мінімуму
— $H = 25$ м; --- $H = 50$ м; - · - · $H = 100$ м

обчислень отримані три масиви даних і розглянуті залежності гранично досяжної дистанції ПА відносно осьової прямої при глибині 50 м і швидкостях течії 0,5; 1; 1,2 м/с. Приклад залежностей граничних бічних відхилень від потужності показаний на рис. 7. Крім цього, для розташування ПА під СН побудовані криві залежностей відносної потужності маршового двигуна P_x/P_0 від відносної довжини КТ λ_H , за базову взято потужність, що відповідає $\lambda_H = 2$.

Аналіз кривих дозволив виділити області: надкороткого ($\lambda_H \leq 1,1$) КТ, де керованість ПА

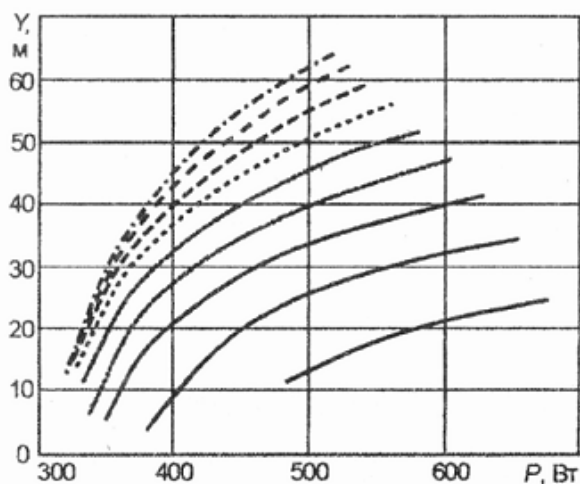


Рис. 7. Граничні бічні відхилення ПА:
- · - · $l_{KT} = 150$ м; - - $l_{KT} = 140$ м;
--- $l_{KT} = 130$ м; · · · · $l_{KT} = 120$ м;
— $l_{KT} = 100 \dots 110$ м; — $l_{KT} = 70 \dots 90$ м

У першому (оцінному) використовується метод дугової апроксимації для просторового КТ. Подібна задача розв'язувалася В.С. Блінцовим і В.Е. Магулою, хоча і дещо іншим способом. Обчислення дозволили побудувати таблиці, що поєднують безрозмірні величини $\bar{x}, \bar{N}_x, \bar{N}_y, \bar{N}_z$ при трьох значеннях відносного заглиблення ПА $h = H/l_{KT} = 0,4; 0,5; 0,67$.

У другому варіанті використано розроблену методику визначення упорів і потужностей приводів ПА при бічному зміщенні. У результаті

вкрай низька, а бічні відхилення вимагають витрати значної потужності; наддового КТ із $\lambda_H > 2,5$ з мінімальними витратами енергії, але можливими труднощами при роботі системи; нормального КТ із $\lambda_H = 1,7 \dots 1,8$, при якому зростання енергозатрат у порівнянні з попереднім випадком не виходить за 5...10%.

Методика визначення конструктивних параметрів ППС, що забезпечують задану робочу зону, розглядає найбільш загальний випадок роботи одноланкової ППС на донній поверхні і дозволяє визначити необхідні потужності приводів та споживану потужність ПА. Розрахунок необхідної ПА потужності можна виконати за наступною методикою (рис. 8):

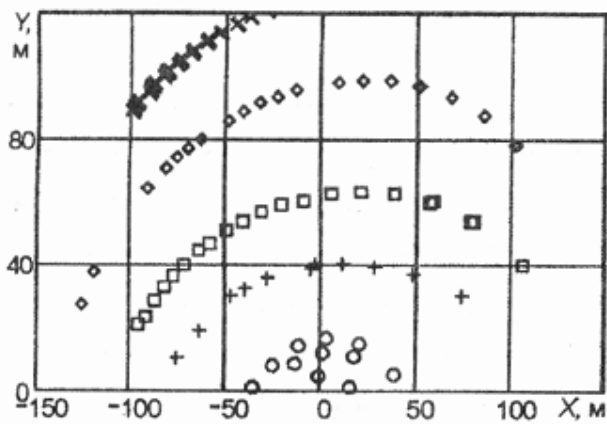


Рис. 8. Робоча зона ППС:
 ○○ $P = 600$ Вт; ++ $P = 700$ Вт;
 □□ $P = 890$ Вт; ◆◆ $P = 1800$ Вт;
 ×× $P = 5300$ Вт

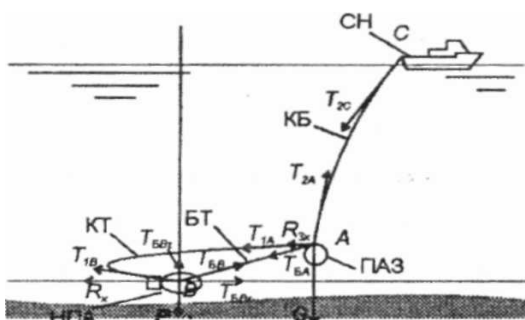
1. Задаємося швидкістю течії і глибиною.
2. Вибираємо Довжину кабель-троса.
3. Виконуємо розрахунок силових і геометричних характеристик ППС.
4. Результати розрахунку виводимо у вигляді графіка, на якому позначені точки донної поверхні, досяжні для ПА при певних енергозатратах.
5. За графіком вибираємо робочу зону і відповідну їй механічну потужність приводів.
6. Задавши ККД приводів ПА,

визначаємо споживану потужність ППС.

Виконуючи дії за пунктами 4-6, але сортуючи точки за іншими ознаками, можна визначити потужності й упори всіх рушіїв окремо. На рис. 8 показаний один із графіків, одержуваних за допомогою описаної методики.

Вірогідність встановлених залежностей між конструктивними параметрами і силовими характеристиками одноланкових ППС підтверджується їх успішним використанням при виконанні унікальної підводно-технічної операції вимірювання товщини стінки підводного газопроводу.

У четвертому розділі досліджується нова комбінована ППС, що раніше не вивчалася і не використовувалася (рис. 9). Комбінована ППС містить важкий заглибник ПАЗ, зв'язаний зі СН кабель-буксиром КБ; підводний апарат, з'єднаний з ПАЗ буксирним тросом БТ і основним кабель-тросом КТ. Буксирування ПАЗ і ПА здійснюються КБ та БТ. Запропоновано дві технології ПОПР. У першій з них після виявлення цікавлячого об'єкта судно-носії зупиняється, буксир дистанційно від'єднується від ПА, останній переходить у режим самостійного руху. Недолік першого варіанта полягає в необхідності зупинки СН.



буксиром; дано аналіз системи після від'єднання ПА від буксирного троса при збереженні ходу СН.

Розроблена методика розрахунку комбінованої ППС у стаціонарному стані допускає три розрахункові схеми. Перша схема передбачає найбільш повне врахування роботи всіх елементів системи; у другій схемі нехтують гідродинамічним опором короткого буксира, що з'єднує ПА з заглибником; у третій схемі нехтують кривизною кабель-троса. Порівняння трьох схем, результати якого показані в табл. 2, показало достатню точність, що забезпечується третьою схемою. Визначено залежності між зміщенням заглибника в горизонтальній площині X_A і натягами в БТ T_{BA} і КТ T_{1A} , заглиблювальною силою заглибника G і ПА P_Z , підйомом заглибника Z_A . Приклад таких залежностей при швидкості течії 1 м/с і глибині 100 м показаний на рис. 10. Сили віднесені до квадрата швидкості потоку, лінійні величини – до глибини.

Таблиця 2

Результати розрахунків комбінованої системи в стаціонарному стані

Схеми	1	2	3
Координата ПАЗ, м	49,7	49,7	50
Координата ПА відносно СН, м	71	71	70
Натяг КТ у точці В, Н	37	37	34
Натяг КТ у точці А, Н	106	106	101
Натяг БТ у точці В, Н	246	246	236
Натяг БТ у точці А, Н	246	246	237
Натяг КБ у точці А, Н	1775	1713	1680
Натяг КБ у точці С, Н	1788	1726	1693
Заглиблювальна сила апарата, Н	27	26	–
Заглиблювальна сила ПАЗ, Н	1679	1624	1600

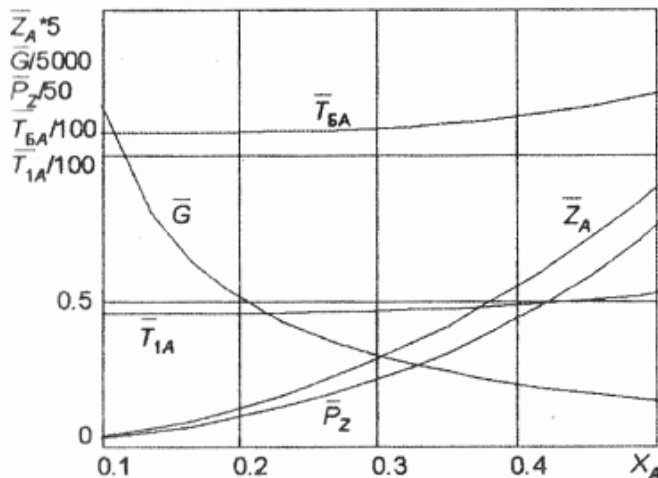


Рис. 10. Характеристики комбінованої ППС

Після від'єднання від БТ ПА

якийсь час рухається по інерції. Якщо час і шлях інерції руху великі, то другий технологічний варіант допошуку неможливий. Для визначення цих величин складене рівняння руху ПА при початкових умовах: початкова швидкість ПА при $t = 0$ дорівнює швидкості буксирування v , опір води руху ПА визначається квадратичною залежністю

від швидкості. Розв'язок рівняння $-M\ddot{x} - b\dot{x}^2 = 0$ показує, що до зниження швидкості ходу ПА в 10 разів він проходить по інерції близько 10 с на шляху близько 2 м. Це означає, що при наявному часі на допошук приблизно 3 хв. і шляху до пошуку більше 500 м часу на гальмування ПА після від'єднання від буксира досить. Отже, другий варіант технології комбінованої системи можливий.

Виконано динамічний розрахунок системи для випадку несвоєчасного з'єднання

ПА з буксиром ПАЗ. Розглядається комбінована система, у якій в момент випрямлення на повну довжину КТ раптово передається динамічне навантаження від заглибника, що рухається зі швидкістю v . Починаючи з цього моменту ($t = 0$) кабель-трос натягується, заглибник відхиляється від стаціонарного положення відносно СН на величину Δ_1 , а відносно дна – на величину Δ_2 . Ка-

бель-трос за рахунок своєї деформації подовжується на $\Delta = \Delta_3 - \Delta_a$. Для розрахунку такого динамічного режиму складені рівняння руху заглибника і ПА

$$-M_3 \ddot{\Delta}_3 + k_1 \Delta_3 - \frac{EF}{l_{KT}} \Delta - k_1 vt = 0; -M_a \ddot{\Delta}_a + \frac{EF}{l_{KT}} \Delta = 0.$$

Обчислення показали, що з похибкою в безпечну сторону динамічним відхиленням заглибника можна нехтувати. Тоді максимальний натяг КТ при ривку визначається формулою $T = EF \cdot \Delta / l_H$. Для системи, у якій $M_a = 100$ кг, $l_H = 150$ м, $EF = 72000$ Н при швидкості буксирования заглибника $v = 1,5$ м/с переміщення підводного апарата і динамічний натяг у кабель-тросі складають: $\Delta_a = 0,685$ м, $T_{\text{д max}} = 329$ Н. Як видно, розглянутий режим може становити небезпеку для кабель-троса системи, і розрахунок такого режиму обов'язковий при проектуванні комбінованої ППС.

Висока продуктивність комбінованої ППС підтверджується її успішним практичним застосуванням при виконанні пошукових робіт на Крайній Півночі Росії на глибинах до 60 м.

У п'ятому розділі виконано аналіз технологічних і енергетичних якостей одноланкової і комбінованої ППС при виконанні типових операцій.

1. Операції, що відбуваються в невеликому районі під судном-носієм, здійснюється з нерухомого судна. Для енергетичної оцінки якості такого роду операцій використані максимальні значення упорів маршових і окремо вертикальних рушіїв, а також максимальні значення суми упорів, що одночасно розвиваються. Оцінка якості одноланкової прив'язної підводної системи повинна проводитися при заданій глибині Н розташування ПА. Тому перейшли до таких залежностей:

$$N_{zh} = N_x / a_n H, N_{zh} = N_z / a_n H$$

Для оцінки порядку величин, що визначаються, прийнято:
Для одноланкової системи побудували табл. 3.

$$C_x / C_n = 0,6; S_x / dH = 0,2$$

Таблиця 3
Значення безрозмірних сил на ПА

λ_H	N_{zh}	N_{zh}	$F_{zh} + F_{xh}$	F_{xh}
1,20	0,368	0,288	0,836	0,548
1,40	0,305	0,148	0,633	0,485
1,60	0,267	0,094	0,541	0,447
1,80	0,241	0,067	0,488	0,421
2,00	0,222	0,050	0,452	0,402
2,20	0,209	0,040	0,429	0,389
2,40	0,197	0,031	0,408	0,377
2,60	0,187	0,026	0,393	0,367

Для дволанкової системи з привантажем упор ПА повинен приблизно дорівнювати його буксирувальному опору. Безрозмірний маршовий упор $= 0,12$. Порівняння цієї величини з даними табл. 3 показує, що при всіх значеннях відносної довжини КТ упор маршового рушія в системі з привантажем складає 25...50 % від величини в одноланковій системі.

2. Операції, що відбуваються вздовж осі системи. При нерухомому судні-носії й одноланковій ППС зміщення ПА вздовж осьової

прямої вимагає зростання подовжніх і вертикальних зусиль в апараті. Мінімум суми зусиль $N_x + N_z$ припадає приблизно на середину осі, тобто при розташуванні ПА приблизно під точкою підвісу. У дволанковій ППС із привантажем подовжнє переміщення ПА вздовж осі не викликає практично змін упорів рушіїв. Тому переваги дволанкової ППС над одноланковою ще більш високі, чим для випадку 1.,

3. Операції що відбуваються при обстеженні площі дна. При використанні одноланкової системи ПА для обстеження площі на дні повинен варіювати упори своїх трьох рушіїв: маршового, бічного і вертикального. Коли використовується дволанкова чи комбінована система з привантажем (заглибником), то ПА має нульову плавучість і його положення на площині робочої зони забезпечується роботою тільки двох рушіїв: маршового і бічного.

Для оцінки енергозатрат двох схем зверталися до побудованих раніше таблиць. Оцінку робили для відхилення ПА вбік від осі системи на $0,6l_H$ у середньому районі робочої зони. Обчислення показали, що при використанні привантажу подовжня N_x і поперечна N_y сили рівні:

$N_x=0,17$, $N_y=0,05$. Для комбінованої системи виявилось: при $\lambda_H = 2,5$ $\bar{N}_x = 0,23$, $\bar{N}_y = 0,10$; при $\lambda_H = 2$ $\bar{N}_x = 0,27$, $\bar{N}_y = 0,13$; при $\lambda_H = 1,5$ $\bar{N}_x = 0,37$, $\bar{N}_y = 0,27$.

Ті ж закономірності спостерігаються по всій робочій зоні.

Таким чином, перехід з одноланкової на дволанкову і комбіновану систему забезпечує зниження потрібних упорів маршового рушія на 25...46 %, бічного рушія - на 50...80 %, загальне зниження споживаної потужності складає 2...3 рази.

ВИСНОВКИ

1. У дисертації виконане подальше вдосконалювання теорії і методів проектування двох видів прив'язних підводних систем - традиційної одноланкової та запропонованої автором комбінованої. На основі аналізу сучасного стану методів проектування прив'язних підводних систем показано, що підвищення продуктивності пошуково-обслідницьких підводних систем може бути досягнуте за рахунок раціональної побудови просторової конфігурації одноланкових прив'язних підводних систем у потоці і сполучення буксированого й самохідного режимів роботи в комбінованих прив'язних підводних системах із самохідними ПА. У результаті отримані якісні і кількісні залежності між конструктивними параметрами прив'язних підводних систем (просторова конфігурація системи, довжина кабель-троса, упори і потужності приводів) та їх продуктивністю як основною експлуатаційною характеристикою.

2. Розроблено математичну модель комбінованої прив'язної підводної системи, що враховує взаємодію між собою її елементів як гнучких ниток і твердих тіл у потоці.

3. Розроблено алгоритми дослідження стаціонарних станів ППС, засновані на обчисленні великих масивів шуканих змінних і сортуванні за призначуваними проектантом критеріями. На основі розроблених алгоритмів створені прикладні профами, що дозволяють виконувати пошук раціональної просторової конфігурації одноланкової прив'язної підводної системи і вивчати властивості комбінованої прив'язної підводної системи в основних режимах її роботи.

4. Розроблено методику визначення конструктивних параметрів одноланкової прив'язної підводної системи для руху перпендикулярно до діаметральної площини системи.

5. Розроблено методику проектного розрахунку необхідних потужностей приводів, упорів рушіїв, довжини КТ у залежності від необхідної робочої зони одноланкової прив'язної підводної системи.

6. Для одноланкової прив'язної підводної системи виявлене існування точки донної поверхні, досяжної з мінімальними енергозатратами. З урахуванням зазначеного явища рекомендована відносна довжина кабель-троса для одноланкових систем 1,6...1,8, що відповідає роботі підводного апарата строго під судном-носієм.

7. Описана і вивчена нова - комбінована прив'язна підводна система, у якій самохідний прив'язний підводний апарат з'єднаний окремим буксирним канатом з буксированим масивним заглибником, причому в процесі руху судна-носія підводний апарат має можливість багаторазово від'єднуватися від буксирного каната і виконувати самостійне кероване переміщення в товщі води.

8. Для комбінованої прив'язної підводної системи розроблені методики розрахунку сил для стаціонарного режиму і двох динамічних режимів роботи. Показано, що динамічні режими визначають принципову можливість експлуатації системи з переходом з буксированого руху до самохідного руху й назад і вимагають обов'язкової перевірки на міцність кабель-троса. Отримані залежності, що поєднують основні силові і геометричні характеристики комбінованої ППС.

9. Підвищення експлуатаційних характеристик комбінованої ППС у порівнянні з одноланковою досягається як за рахунок підвищення продуктивності, так і за рахунок зниження тривалості допоміжних операцій. Доведено, що при обстеженні площ комбіновані прив'язні підводні системи в два-три рази менш енергоємні і мають на 25...40 % більшу продуктивність, ніж одноланкові.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Блинцов В.С., Костенко Д.В. Натурные испытания привязной подводной системы в условиях течения // 36. наук, праць УДІИТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 1998. - № 4 (352). - С. 172-178.

2. Блинцов В.С., Костенко Д.В. Энергозатраты привязного самоходного подводного аппарата при работе на течении // 36. наук, праць УЦМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 1998. - № 10 (358). - С. 49-53.

3. Костенко Д.В. Исследование работы привязного подводного аппарата в условиях течения // 36. наук, праць. - Миколаїв: УДМТУ, 1998 - № 2 (350). - С. 23-30.

4. Костенко Д.В. К вопросу оценки потребляемой мощности привязного подводного аппарата при работе на течении // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 1999. - № 5 (365). - С. 3-7.

5. Костенко Д.В. Моделирование комбинированной привязной подводной системы // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2001. - № 1 (373). - С. 47-53.

6. Блинцов В.С., Костенко Д.В. Модернизация электрооборудования осмотрового обитаемого подводного аппарата для исследования гидрофизических характеристик водной среды // Электрооборудование и автоматизация судовых установок и систем: Сборник научных трудов. - Николаев: УИШТУ. 1994. - С. 83-89.

7. Блинцов В.С., Гортов С.П., Костенко Д.В. Улановський Л.М. Особливості організації і виконання пошукових робіт в льодових умовах // Проблеми енергосбереження і екології в судостроєнні. 2-я міжнародна науково-технічна конференція. Тезиси докладів. - Николаев: УГМТУ, 1998 г. - С. 92-93.

8. Костенко Д.В., Нужный С.Н. Оптимизация энергопотребления подводного аппарата // Тезиси докладів 1-й міжнародної науково-технічної конференції

'Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении*'. - Николаев: УГМТУ, 1998 г. - С. 99-100.

9.Костенко Д.В. Алгоритмы управления подводным аппаратом при работе на течении // Тезисы докладов 1-й международной научно-технической конференции 'Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении*'. - Николаев: УГМТУ, 1996 г. - С. 105-106.

10.Костенко Д.В. Енерговитрати самохідної прив'язної підводної системи при роботі на течії // Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении. 2-я международная научно-техническая конференция. Тезисы докладов. - Николаев: УГМТУ, 1998 г. - С. 91.

11.Костенко Д.В. Исследование взаимосвязи конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик привязной подводной системы // Кораблебудування: освіта, наука, виробництво: Матеріали міжнародної конференції: В 2 т. - Миколаїв: УДМТУ, 2002. - Т. II. - С. 25-26.

12.Костенко Д.В. Математическое моделирование системы "подводный робот-кабель-судно" при работе на течении // Матеріали 1-го Всеукраїнського з'їзду "Теорія механізмів, машин і техносфера України XXI сторіччя". - Х.: 1997. - С. 46.

13.G.Bebkin, V.Blintsov, S.Gertov. D.Kostenko. The Peculiarities of Using of unmanned Submersibles in the Exstreme North // Proceedings of Internationale Conference on Development and Commercial Utilization of Technologies in Polar Regions. – POLARTECH'96. Krylov Shipbuilding Research Institute, St.Peterburg, Russia, 1996. - S.23-25.

Костенко Д.В. Вплив конструктивних параметрів прив'язних підводних систем на їхні експлуатаційні характеристики. Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 - Механіка та конструювання суден. - Український державний морський технічний університет, Миколаїв, 2003.

Дисертація присвячена питанням удосконалювання проектування прив'язних підводних систем з ненаселеними підводними апаратами, що володіють підвищеною продуктивністю при виконанні типових технологічних операцій пошуково-обслідницьких підводних робіт. Обґрунтовані шляхи підвищення продуктивності, показаний взаємозв'язок продуктивності із силовими й енергетичними характеристиками. Вивчені явища, пов'язані з роботою одноланкової прив'язної підводної системи. Виявлено Існування енергетичного мінімуму - точки донної поверхні, досяжної з мінімальними енергозатратами, розглянута залежність положення енергетичного мінімуму від інших параметрів прив'язної підводної системи і зовнішніх впливів. Розроблено методики визначення конструктивних параметрів одноланкової прив'язної підводної системи для випадку обстеження донної поверхні з якірної стоянки. Запропонована і досліджена комбінована прив'язна підводна система із самохідним підводним апаратом. Система сполучає буксирувальний і самохідний режими роботи та забезпечує більшу продуктивність у порівнянні з одноланковою.

Розроблено методику проектування такої системи в стаціонарному стані й основних динамічних режимах. Наводяться опис і результати натурних експериментів, що підтверджують теоретично отримані висновки.

Ключові слова: прив'язна підводна система, підводний апарат, кабель-трос, проектування, технологія, експлуатація.

Костенко Д.В. Влияние конструктивных параметров привязных подводных систем на их эксплуатационные характеристики. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 - Механика и конструирование судов. - Украинский государственный морской технический университет, Николаев, 2003.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования проектирования привязных подводных систем с необитаемыми подводными аппаратами, обладающими повышенной производительностью при выполнении типовых технологических операций поисково-обследовательских подводных работ. Обоснованы пути повышения производительности, показана взаимосвязь производительности с силовыми и энергетическими характеристиками. Изучены явления, связанные с работой однозвенной привязной подводной системы. Обнаружено существование энергетического минимума - точки донной поверхности, достижимой с минимальными энергозатратами, рассмотрена зависимость положения энергетического минимума от других параметров привязной подводной системы и внешних воздействий. Разработаны методики определения конструктивных параметров однозвенной привязной подводной системы для случая движения, перпендикулярного диаметральной плоскости и обследования донной поверхности с якорной стоянки.

В диссертации описана ранее не применявшаяся и не изучавшаяся комбинированная привязная подводная система с самоходным подводным аппаратом, которая может находиться в буксируемом или в самоходном режиме работы. В буксируемом режиме обеспечивается высокая производительность поисковой работы, при этом сохраняется возможность при необходимости перейти в самоходный режим для выполнения обследования обнаруженного объекта. Разработана методика проектирования такой системы в стационарном состоянии и в основных динамических режимах: при переходе в автономный режим и при несвоевременном соединении подводного аппарата с буксиром. Приводятся зависимости, связывающие основные силовые и геометрические характеристики комбинированной подводной системы в стационарном состоянии.

Для подтверждения теоретически полученных выводов разработана методика и выполнен натурный эксперимент. Приводятся результаты замеров сил на коренном конце кабель-троса и мощности, потребляемой привязной системой и сравнение экспериментальных и расчетных данных.

Ключевые слова: привязная подводная система, подводный аппарат, кабель-трос, проектирование, технология, эксплуатация.

Kostenko D. V. Influence of design data of lashing underwater systems on their operational characteristics. Manuscript.

The dissertation for getting a scientific degree of the candidate of engineering sciences on a speciality 05.08.03 - Mechanics and designing of ships. - Ukrainian state maritime technical university. Nikolaev, 2003.

The dissertation is devoted to questions of perfecting the designing of lashing underwater systems with the uninhabited underwater devices having increased productivity when fulfilling typical technological operations of search-and-survey underwater works. The ways of increasing the productivity are proved, the Interrelation of productivity with the force and energy

characteristics is shown. The phenomena connected with work of one-unit lashing underwater system were studied in detail. The existence of a power minimum - point of a bottom surface, achievable with minimal energy consumption, is revealed, the dependence of a power minimum position on other parameters of lashing underwater system and external influences is considered. The technique of defining the design parameters of one-unit underwater system for a case of inspection of bottom surface from anchorage is developed, in the dissertation the combined lashing underwater system with the self-propelled underwater device, which has not been used and studied before, is described. Such system combines towing and self-propelled operation conditions and provides higher productivity in comparison with one-unit. The technique of designing such system in stationary state and basic dynamic modes is developed. The description and results of the full-scale experiments confirming theoretically received conclusions are submitted.

Key words: lashing underwater system, underwater device. cable-hawser, designing, technology, operation.