

УДК 656.61:629.5

# ІНТЕГРАЦІЯ КЕРУВАННЯ САМОХІДНОЮ ПРИВ'ЯЗНОЮ ПІДВОДНОЮ СИСТЕМОЮ У СКЛАДІ МОРСЬКОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

**В. А. Надточій**

Викладач кафедри автоматики та електроустаткування суден  
 Національний університет кораблебудування  
 ім. адмірала Макарова  
 Херсонська філія  
 вул. Ушакова, 44, м. Херсон, Україна, 73022  
 E-mail: nva\_74@mail.ru

*Розроблено концепцію побудови та узагальнену структуру інтегрованої системи автоматичного керування морським самохідним підводним комплексом у складі судна-носія та самохідної прив'язної підводної системи як єдиного морського технологічного комплексу, який працює в умовах невизначеності зовнішніх збурень та нестаціонарності власних параметрів*

*Ключові слова: самохідна прив'язна підводна система, система автоматичного керування, зовнішні збурення, маніпулятор*

*Разработана концепция построения и обобщенная структура интегрированной системы автоматического управления морским самоходным подводным комплексом в составе судна-носителя и самоходной привязной подводной системы как единого морского технологического комплекса, который работает в условиях неопределенности внешних возмущений и нестационарности собственных параметров*

*Ключевые слова: самоходная привязная подводная система, система автоматического управления, внешние возмущения, манипулятор*

## 1. Вступ

Самохідні прив'язні підводні системи (СППС) належать до телекерованої морської техніки і реалізують безлюдні підводні технології широкого спектру та складності. До простих технологій відносяться пошукові та оглядові підводні роботи, які виконуються за допомогою підводних відеокамер; до складних робіт відносяться підводні операції з застосування начіпного обладнання (НО) – маніпуляторів, різаків, відбірників проб води ґрунту тощо [1 – 4].

До складу типової одноланкової СППС входять самохідний підводний апарат (ПА), судно-носіє (СН), на якому розміщені пост енергетики і керування апаратом (ПЕК) і кабельна лебідка (КЛ) кабель-тросу нульової плавучості (КТ), через який забезпечується електроживлення та керування ПА, а також інформаційний обмін між ПА та ПЕК, рис. 1, а.

При роботі на великих глибинах та за наявності сильної течії використовують двохланкові СППС [5], які включають важкий кабель-трос КТ1 та привантажувач – підводний гараж (ПГ) для ПА з кабельною лебідкою КЛ2 для кабель-тросу нульової плавучості КТ2, рис. 1, б.

В обох варіантах СППС для підйому чи опускання вантажів у робочу зону ПА на судні встановлюється вантажна лебідка (ВЛ) з вантажним тросом (ВТ) та вантажною платформою (ВП). Вказані механізми відносяться до палубного обладнання СН і їх автоматизація у роботі не розглядається.

На цей час при виконанні підводних робіт спостерігається зростання частки робіт маніпуляційного типу – підводних будівельно-монтажних операцій, збирання та підйому на поверхню малорозмірних підводних об'єктів (ПО), приладових вимірювань характеристик ПО, відбору проб води і ґрунту тощо.

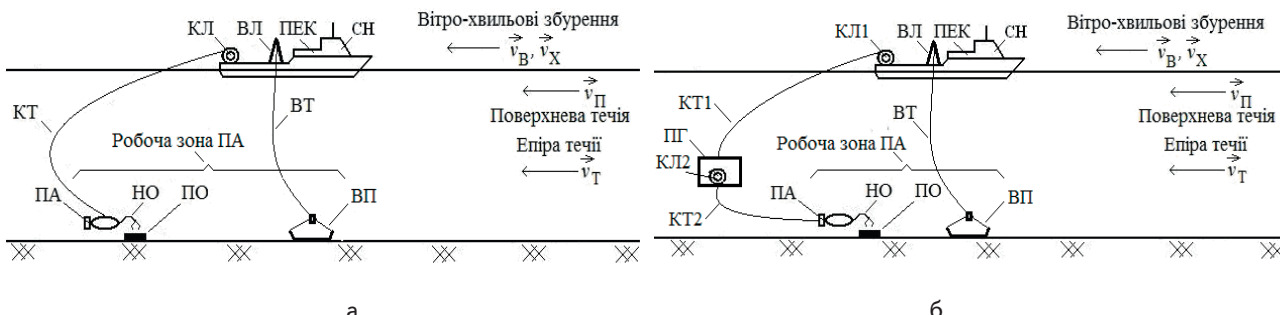


Рис. 1. Склад обладнання СППС: а - одно ланкової; б - двохланкової

Особливу актуальність для України та країн Причорномор'я отримують підводні роботи, пов'язані з будівництвом та експлуатацією видобувних споруд на шельфі (морських стаціонарних платформ, підводних трубопроводів та кабелів зв'язку), глибоководною археологією, протимінними операціями тощо [6 – 9].

Зазначений перелік підводних робіт передбачає виконання широкого спектру керованих переміщень ПА в районі виконання робіт: навколо ПО при його обстеженні; виконання маніпуляційних робіт; при транспортуванні вантажів до встановленої на дні ВП. Виконання таких робіт з позицій керування НО є складною технічною задачею, оскільки СППС функціонує в умовах збурень з боку зовнішнього середовища (вітро-хвильова дія та приповерхнева течія – на СН, епіюра течії по глибині – на КТ і придонна течія – на ПА), та нестаціонарності власних параметрів ПА, обумовленої зміною маси та коефіцієнтів гідродинамічного опору ПА через взаємодію НО з ПО.

## 2. Постановка проблеми

Продуктивність і якість підводних робіт, виконуваних за допомогою СППС, суттєво залежить від ефективності керування ними у нормальних та граничних режимах. На цей час керування СППС здійснюється переважно у ручному режимі операторами ПА і НО, які знаходяться в ПЕК, та операторами КЛ на СН. Така організація підводних робіт високої складності і тривалості призводить до швидкої втомлюваності операторів та появи похибок у керуванні обладнанням СППС і, в окремих випадках – до підводних аварій.

Магістральним шляхом підвищення ефективності застосування СППС є комплексна автоматизація керування ними з максимальним вивільненням людей-операторів від напружених та тривалих операцій ручного керування обладнанням [10, 11]. Реалізація цього завдання можлива лише шляхом розробки інтегрованої системи автоматичного керування (САК) СППС, яка б забезпечувала узгоджене функціонування твердих тіл (ПА) та гнучких тіл (КТ) у потоці води як єдиної підводної системи, верхня точка закріплення якої на СН є нестаціонарною у просторі з-за дії вітро-хвильових збурень на судно, а довжина попущеної частини КТ має бути динамічно керованою для зменшення силової дії СН та епіюри течії на ПА.

## 3. Сучасний стан автоматизації керування прив'язними підводними апаратами та системами

Завдання автоматизації керування прив'язними підводними апаратами та системами постійно перебувають у центрі уваги науковців з 80-х років минулого сторіччя [12 – 15]. Головна увага при цьому приділялась питанням автоматизації власне ПА, їх позиціонування у просторі та стабілізації траєкторного руху. За останнє десятиріччя теоретичні дослідження автоматизації керування СППС також стосувались виключно розв'язку задач керування підводними апаратами як складовими СППС. При цьому успішно вирішені питання зв'язку між ПА і ПЕК [16], застосування штучних нейронних мереж для керування морськими

рухомими об'єктами [17], керування маніпуляторами ПА [18], дослідження впливу КТ на маневреність ПА [19], загальних питань конструювання САК ПА та їх відео- та освітлювальними приладами [20, 21].

Проте, постановка задачі щодо автоматизації керування СППС з НО у цілому, з комплексним урахуванням зовнішніх збурень (дрейфу та хитавиці СН, підводної течії) та нестаціонарності власних параметрів підводної системи (зокрема, начіпного обладнання під час його функціонування), у науковій літературі відсутня.

## 4. Формулювання мети статті

У статті ставиться задача інтеграції керування самохідною прив'язною підводною системою з начіпним обладнанням як єдиним морським технологічним комплексом, який встановлений на судні-носії і працює в умовах невизначеності зовнішніх збурень та нестаціонарності власних параметрів, та розробки узагальненої структури такої системи.

## 5. Розробка концепції інтеграції самохідної прив'язної підводної системи до складу морського технологічного комплексу та структури системи автоматичного керування ним

Інтегровані системи керування складними технологічними процесами, у тому числі і суднами, досить повно описані у науковій літературі [22 – 24]. Їх основу складають принципи системного підходу та цілеспрямоване об'єднання програмних і апаратних засобів окремих автоматизованих підсистем об'єкту керування у єдину цілісну автоматизовану чи автоматичну систему, що дає змогу вирішувати нову виробничу задачу.

На суднах зазначені принципи реалізують шляхом автоматичного збору, обробки і відображення інформації, а також виконання функцій навігації та керування судном на базі інтегрованої системи ходового містка (ICM, в англійській літературі – Integrated Bridge System) [25].

Виходячи з призначення СППС як технологічного обладнання на борту СН, яке доставляє СППС на акваторію підводних робіт, можна сформулювати наступні положення концепції інтеграції керування одноланковою СППС при виконанні нею підводно-технічних робіт з використанням НО:

а) головною метою інтегрованої САК СППС в умовах дії зовнішніх збурень на СН, КТ і ПА та в умовах зміни власних параметрів ПА є стабілізація просторового положення підводного апарата як платформи, на якій встановлено начіпне обладнання;

б) інтеграції в єдину САК підлягають:

- система керування режимом позиціонування СН над підводною робочою зоною ПА для забезпечення досяжності підводним апаратом максимальної площі донної поверхні;

- система керування довжиною попущеної частини КТ для забезпечення мінімального гідродинамічного збурення від КТ на корпус ПА, яке виникає внаслідок дії підводної течії та хитавиці СН;

- система керування просторовим рухом ПА у робочій зоні для точного його виведення до ПО;
- система позиціювання ПА біля ПО для найбільш ефективного застосування НО;
- система компенсації зусиль, що виникають на ПА при роботі НО та при зміні маси та гідродинамічних характеристик ПА у результаті захоплення та перенесення вантажів;
- система керування НО (наприклад, для підводного маніпулятора – з метою надійного захоплення та фіксації затискачем предмету, який необхідно транспортувати до ВП).

Таким чином, у загальному вигляді для одноланкової СППС маємо як об'єкт керування морський самохідний підводний комплекс (МСПК) у складі «СН – СППС» або «СН – КЛ – КТ – ПА – НО».

Для двохланкової СППС додається система керування довжиною КТ2 та враховується його вплив на корпус ПА.

Розглянемо можливості реалізації запропонованої концепції створення інтегрованої САК МСПК на базі одноланкової СППС з НО.

Одним з головних варіантів його застосування є допошук ПО, його захоплення НО (маніпулятором) і транспортування до ВП, який за допомогою вантажної лебідки (ВЛ) з вантажним тросом (ВТ) забезпечує підйом ПО на палубу СН.

Опишемо головні режими роботи МСПК для цієї підводної технології:

- а) позиціювання СН  $P_{СН}$  над робочою зоною ПА в умовах дії зовнішніх збурень;
- б) допошук  $D_{ПО}$  та ідентифікація  $I_{ПО}$  підводного об'єкту, з яким необхідно виконувати підводні маніпуляції;
- в) рух  $O_{ПА}$  ПА навколо ПО з метою візуального обстеження його просторового положення та визначення зручної позиції для застосування НО;
- г) перехід  $P_{ПА1}$  ПА в точку позиціювання, де буде застосовуватись НО;
- д) стабілізація (просторове позиціювання) ПА відносно ПО з метою забезпечення ефективної роботи підводного маніпулятора (ПМ);
- е) захоплення (зажим)  $Z$  підводного об'єкту кінцівкою ПМ з заданим зусиллям;
- ж) відрив  $B$  підводного об'єкту від ґрунту;
- з) транспортування  $T_{ПО}$  підводного об'єкту у задану точку підводного простору до ВП з заданими динамічними характеристиками;
- і) перехід  $P_{ПА2}$  ПА в точку позиціювання біля ВП, де буде завантажуватись підводний об'єкт;
- к) стабілізація (просторове позиціювання)  $C2_{ПА}$  підводного апарату біля ВП з метою забезпечення умов для укладання ПО на платформу з заданими просторовими та динамічними характеристиками;
- л) укладання  $У_{ПО}$  підводного об'єкту у заданій точці підводного простору на ВП з заданими динамічними характеристиками та характеристиками просторової орієнтації;
- м) відведення  $H$  підводного апарату на відстань, безпечну для роботи ВП, та відеосупровід  $V$  роботи ВП.

Символьною мовою алгоритмів головні режими роботи МСПК для цієї підводної технології можна представити у вигляді, поданому на рис. 2.

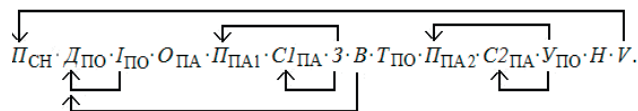


Рис. 2. Головні режими роботи морського самохідного підводного комплексу

Зворотні зв'язки вказаного алгоритму описують реалізацію повтору режимів у випадку невиконання режимів ідентифікації, захоплення та укладання ПО.

Таким чином, інтегрована САК МСПК має бути функціонально й конструктивно завершеним виробом, призначеним для підвищення рівня автоматизації виконання складних підводно-технічних робіт, відображення підводної технологічної та навігаційної й радіолокаційної надводної обстановки, централізованого керування технічними засобами СППС і керування стабілізацією СН.

Відомо, що з позицій динаміки власне ПМ є кінцевим елементом системи «СН – КЛ – КТ – ПА – НО» [26]. Специфіка практичного виконання підводних робіт такої системи характеризується наступними чинниками:

- а) високими вимогами до точності просторового положення й динаміки руху всіх ланок ПМ, оскільки роботи виконуються, зазвичай, у стиснених умовах підводної навігації при дефіциті операційного часу;
  - б) візуальною оцінкою оператором взаємного положення кінцівки (захвату) ПМ і ПО на основі встановлених на ПА і маніпуляторі відеокамер, які одночасно є одним з головних джерел інформації та похибок керування;
  - в) необхідністю адаптації механічного впливу захвату ПМ (сил і моментів, які розвиваються захватом) до фізичних характеристик ПО з метою збереження його цілісності в результаті виконання підводних маніпуляцій;
  - г) наявністю зовнішніх збурень (підводна течія, змінна прозорість води), які активно впливають на ланки ПМ, впливають на якість відеозображення робочої зони та вимагають застосування сучасних систем керування ПМ;
  - д) рухливістю точки закріплення ПМ, обумовленою тим, що ПА як носій ПМ має нестаціонарні просторові характеристики через дію течії на корпус апарату й механічних впливів від кабель-тросу через вплив епюри течії в районі підводних робіт, хитавиці та дрейфу СН.
- Функціонування СППС протікає в умовах нестаціонарності власних параметрів  $R_{ПА}$  і невизначеності характеристик зовнішнього середовища  $R_{С}$ :
- зміни маси  $m_{ПА}$ , метацентричної висоти  $h$  та гідродинамічних характеристик ПА (коефіцієнтів гідродинамічного опору  $C_{xПА}$ ,  $C_{yПА}$ ,  $C_{zПА}$ ), обумовленою роботою ПМ;
  - невизначеності швидкості й напрямку течії на поверхні моря  $\vec{v}_п$ , яка впливає на просторове положення СН;
  - невизначеності вітрових  $\vec{v}_в$  та хвильових збурень  $\vec{v}_х$ , які діють на корпус СН і через КТ передаються на корпус ПА;
  - невизначеності епюри швидкості потоку води по глибині  $\vec{v}_т$ , що набігає на елементи СППС, та питомої густини води  $\rho$ , які обумовлюють невизначеності сил

гідродинамічної природи  $\vec{F}_{ПА}$ ,  $\vec{F}_{КТ}$ , що виникають на КТ і корпусі ПА.

Таким чином, функціонування МСПК характеризується наступними двома множинами невизначеностей [26]:

$$P_{ПА} = [m_{ПА}, h, C_{хПА}, C_{уПА}, C_{zПА}]; \quad (1)$$

$$P_C = [\vec{v}_П, \vec{v}_В, \vec{v}_Х, \vec{F}_{ПА}, \vec{F}_{КТ}], \quad (2)$$

які суттєво ускладнюють процес синтезу високоефективних систем керування СПС.

Вказані особливості роботи МСПК обумовлюють побудову системи автоматичного керування (САК) таким об'єктом як багаторівневу керуючу структуру, що містить наступні рівні:

а) стратегічний – аналізує поставлене завдання, розробляє загальний план місії МСПК  $P_M$ , обирає з бази даних (БД) закони  $Z_{СН}$  стабілізації СН у точці та закони  $Z_{ПА}$  руху ПА при пошуку заданого ПО, обирає закони  $Z_I$  його ідентифікації, обирає закони  $Z_{П}$  позиціонування ПА біля ПО, закони  $Z_{ПМ}$  виведення затискача ПМ на позицію надійного захоплення об'єкта й закони  $Z_3$  роботи затискача, формує траєкторію  $T_0$  транспортування захопленого об'єкта по оптимальній траєкторії до заданої точки підводного простору;

б) тактичний – розробляє алгоритми  $A_{СН}$  стабілізації СН у заданій точці акваторії, алгоритми  $A_{ПА}$  траєкторного руху ПА та закони  $A_{ПМ}$  руху ланок ПМ на базі вимог підводної технології й умов роботи;

в) програмний – обирає з бази даних програми  $P_{ГК}=\{P_{СН}; P_{КЛ}; P_{ПА}; P_{ПМ}\}$ , відповідно, групового керування виконавчими механізмами СН, КЛ, ПА та ПМ за завданням тактичного рівня; тут виконується відбір і підготовка прикладних програм  $P_{МСПК}$  узгодженого керування виконавчими механізмами МСПК, які мають забезпечити його функціонування як цілісної автоматичної системи, що дає змогу вирішувати поставлену виробничу задачу;

г) виконавчий – генерує множину  $U=\{u_{СН}; u_{КЛ}; u_{ПА}; u_{ПМ}; u_3\}$  керуючих сигналів для виконавчих механізмів МСПК, забезпечуючи: стабілізацію СН у заданій точці акваторії; керування електроприводами (ЕП) кабельної лебідки для вибирання/попускання КТ для забезпечення оптимальної його довжини за критерієм мінімуму гідродинамічного впливу на корпус ПА та мінімізації силового впливу хитами та дрейфу СН на сили, які виникають на КТ; керування маршовими, лаговими й вертикальними ЕП ПА з метою просторової його стабілізації в робочій точці; керування електроприводами ланок ПМ з метою стабілізації положення першої ланки (затискача) маніпулятора біля ПО; керування процесом захоплення та зажиму підводного об'єкта затискачем;

д) контролюючий – у випадку неадекватної реакції об'єктів керування на сигнали керування (наприклад, внаслідок відмови) або при неможливості виконати підводну операцію (наприклад, при неможливості затиснути ПО кінцівкою маніпулятора або неможливості укласти ПО на ВП) видає інформацію  $G$  про неможливість коректного функціонування САК МСПК і переводить ПА у режим повторного заходу на нову точку позиціонування.

Аналіз принципів побудови систем автоматичного керування рухомих об'єктів, які функціонують в умовах невизначеності, свідчить, що для їхньої ефективної роботи доцільно застосовувати елементи штучного інтелекту – нечіткі та нейромережні регулятори, інверсні математичні та нейромережні моделі об'єктів керування тощо. Тому в пропонованій інтегрованій САК МСПК передбачається застосування зазначених підходів як на стратегічному рівні керування, так і на виконавчому рівні для безпосереднього керування механізмами ПА і маніпулятора.

Узагальнена структура інтегрованої САК МСПК наведена на рис. 3.

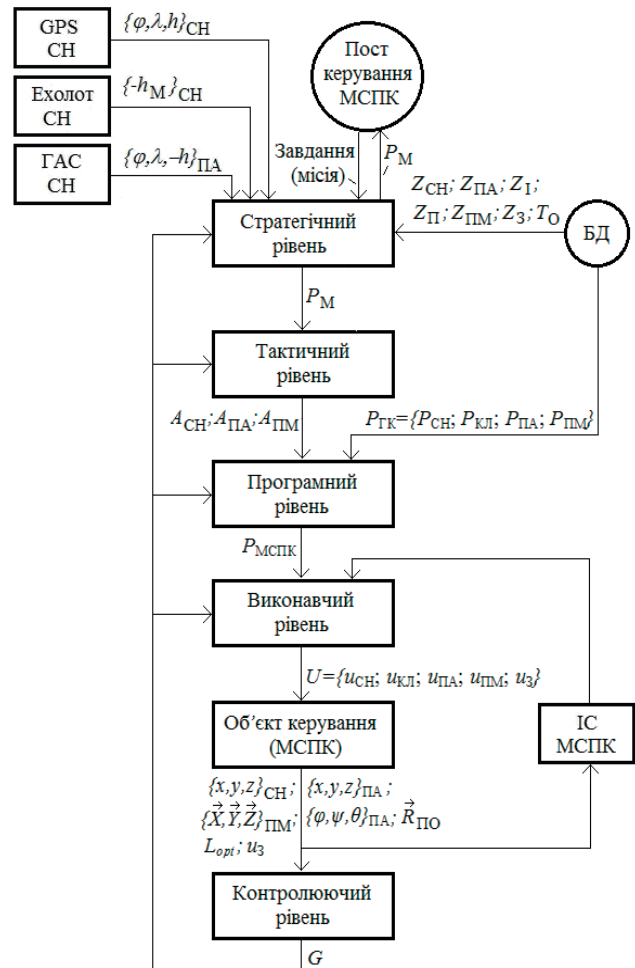


Рис. 3. Узагальнена структура інтегрованої САК МСПК

На виконавчому рівні функціонують п'ять підсистем автоматичного керування (ПАК): виконавчими механізмами позиціонування СН, приводами КЛ, рушійним комплексом ПА, приводами ПМ та його затискача (захвату). Перша ПАК на основі GPS-інформації про географічні координати СН (широта  $\varphi$ , довгота  $\lambda$  і висота  $h$  над рівнем моря), даних про глибину моря  $-h_M$  та про географічні координати ПА (широта  $\varphi$ , довгота  $\lambda$  і глибина  $-h$  за даними гідроакустичної системи (ГАС) СН і сенсора глибини ПА) стабілізує положення СН в умовах хитами.

Друга ПАК забезпечує оптимальне значення попушеної частини КТ  $L_{орт}$  та динамічну її зміну, зменшуючи, таким чином, силовий вплив СН і КТ на ПА.



Третя ПАК на основі даних від інформаційної системи (ІС) МСПК про просторові координати ПА  $\{x,y,z\}$  ПА і його кути курсу, крену й диферента  $\{\varphi,\psi,\theta\}$  ПА в декартовій системі координат, з урахуванням динаміки руху ПА, забезпечує його просторовий рух чи стабілізацію відносно ПО, відслідковуючи радіус-вектор  $\vec{R}_{\text{ПО}}$  (дистанцію до підводного об'єкта).

Четверта ПАК на основі узагальненої інформації про просторовий стан маніпулятора  $\{\vec{X},\vec{Y},\vec{Z}\}_{\text{ПМ}}$  керує електроприводами ПМ, забезпечуючи задане просторове положення кожної і-ї ланки  $\{x,y,z\}_{\text{ПМ}}$  з урахуванням залишкової динаміки фундаменту маніпулятора (точки закріплення на ПА) та зміни маси  $m_{\text{ПА}}$ , метацентричної висоти  $h$  та гідродинамічних характеристик ПА (коефіцієнтів гідродинамічного опору  $C_{\text{хПА}}, C_{\text{уПА}}, C_{\text{zПА}}$ ), обумовлених роботою ПМ.

П'ята ПАК генерує сигнали управління роботою кінцевої ланки (загискача) ПМ.

Інформаційна система МСПК являє собою сукупність датчиків механічних, електричних та гідромеханічних величин, схем перетворення сигналів і мікропроцесорної техніки, які забезпечують первинну обробку, накопичення й узагальнення інформації про поточні й прогнозовані властивості об'єктів керування

з можливістю самоконтролю технічного стану й широкі комунікаційними властивостями.

Застосування інтегрованої САК МСПК у складі «СН – КЛ – КТ – ПА – НО», мінімізує вплив дрейфу і хитавиці СН та течії на КТ і ПА, що дасть змогу підвищити точність просторового руху та стабілізації ПА як платформи підводного маніпулятора, забезпечить підвищену продуктивність і точність підводних робіт в умовах дії зовнішніх збурень та нестационарності власних параметрів підводного апарата.

## 6. Висновки

Розроблено концепцію побудови та узагальнену структуру інтегрованої системи автоматичного керування морським самохідним підводним комплексом у складі судна-носія та самохідної прив'язної підводної системи як єдиного морського технологічного комплексу, який працює в умовах невизначеності зовнішніх збурень та нестационарності власних параметрів. Реалізація інтегрованої САК дасть змогу підвищити продуктивність і якість виконання складних технічних робіт під водою з застосуванням начіпного обладнання, зокрема, дистанційно керованих маніпуляторів.

## Література

1. Undersea Vehicles and national Needs [Text] / National Academy Press. – Washington, D.C., 1996. – 114 p.
2. Блинцов, В. С. Привязные подводные системы. [Текст] / В. С. Блинцов. – К.: Наукова думка, 1998. – 232 с.
3. Christ, R. The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles [Text] / Robert D. Christ, Robert L. Wernli Sr. – Elsevier, 2007. – 308 p.
4. Войтов, Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. [Текст] / Д. В. Войтов. – Книга + CD. – М.: МОРКНИ-ГА, 2012. – 506 с.
5. Блинцов, В. С. Привязные подводные системы [Текст] / В. С. Блинцов. – К.: Наукова думка, 1998. – 232 с.
6. Alexander, V. Inzartsev Underwater Vehicles. [Text] / V. Inzartsev Alexander. – Publisher: InTech, 2009. – 582 p.
7. Таскаев, В. Н. Методика проведения подводно-археологических работ. [Текст] / В. Н. Таскаев. – М.: «Вопросы подводной археологии», 2010. – С. 45-95.
8. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана [Текст]. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – 780 с.
9. Шостак, В. П. Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы. [Текст] / В. П. Шостак. – Чикаго: Мегатрон, 2011. – 134 с.
10. Блинцов, В. С. Современные проблемы создания электрооборудования и автоматики подводных аппаратов [Текст] / В. С. Блинцов // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – 2007. – №5 (24). – С. 90-98.
11. Наумов, Л. А. Приоритеты подводной робототехники [Текст] / Л. А. Наумов, Ю. В. Матвиенко, Л. В. Киселев // Материалы XIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». – М.: АПР, 2013. –Т. 1. – С. 296-297.
12. Ястребов, В. С. Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы [Текст] / В. С. Ястребов. – М.: Наука, 1980. – 144 с.
13. Thor, S. Fossen Adaptive Control of Nonlinear Underwater Robotic Systems: A case study of underwater robotic systems. [Text] / S. Thor, I. Sagatun Svein. – J. Field Robotics. – 1991. – Vol. 8, Issue 3. – P. 393-412.
14. Yuh, J. Learning Control for Underwater Robotic Vehicles. [Text] / J. Yuh // IEEE Control Systems, 1994. – P. 39-46.
15. Howard, H. W. The Design and Development of an Intelligent Underwater Robot [Text] / H. Wang Howard, M. Rock Stephen // Journal of Autonomous Robots. – 1996. – №3. – P. 297-320.
16. Zain, Z. M. Design and development of an RS232-based ROV controller system. [Text] / Z. M. Zain, R. B. Ahmad, M. R. Arshad // IEEE Region 10 Conference "Analog and digital techniques in electrical engineering", 2004. – Vol. 4. – P. 487-490.
17. Tzung-Hang, Lee. Application of an On-line Training Predictor/Controller to Dynamic Positioning of Floating Structures [Text] / Lee Tzung-Hang, Cao Yusong, Lin Yen-mi // Tamkang Journal of Science and Engineering. – 2001. – Vol. 4. – No. 3. – P. 141-154.

18. Bong-Huan, Jun. Manipulability analysis of underwater robotic arms on ROV and application to task-oriented joint configuration. [Text] / Jun Bong-Huan, Lee Pan-Mook, Kim Seungmin // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2008. – №22. – P. 887-894.
19. Костенко, В. В. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата [Текст] / В. В. Костенко, И. Г. Мокеева // Подводные исследования и робототехника. – 2009. – №1(7). – С. 22-27.
20. Govindarajan, R. Underwater Robot Control Systems. [Text] / R. Govindarajan, S. Arulsevi, P. Thamarai // International Journal of Scientific Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2, Issue 4. – P. 222-224.
21. Moore, S. Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication [Text] / Steven W. Moore, Harry Bohm, Vickie Jensen. – Publisher: Marine Advanced Technology Education (MATE) Center, 2010. – 770 p.
22. Вагущенко, Л. Л. Системы автоматического управления движением судов. [Текст] / Л. Л. Вагущенко, Л. Л. Цымбал. – Одесса: Латстар, 2002. – 310 с.
23. Харазов, В. Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами [Текст] / В. Г. Харазов. – М.: Изд-во «Профессия», 2009. – 591 с.
24. Бойков, В. И. Интегрированные системы проектирования и управления [Текст] / В. И. Бойков, Г. И. Болтунов, О. К. Мансурова. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 162 с.
25. Вагущенко, Л. Л. Интегрированные системы ходового мостика [Текст] / Л. Л. Вагущенко. – Одесса: Латстар, 2003. – 169 с.
26. Блінцов, В. С. Сучасні задачі автоматизації керування самохідними прив'язними підводними системами з напічним обладнанням [Текст] / В. С. Блінцов, В. А. Надточій // «Збірник наукових праць НУК». – Миколаїв: НУК, 2012. – №2. – С. 79-83.

*Представлено алгебраїчну задачу про приховану дію абелевої групи, до якої зводяться питання стійкості використання локально комутативних відображень в якості криптографічних односторонніх функцій. Показано зведення цієї задачі до відомої в квантовій моделі обчислень задачі про прихований зсув, що дозволяє використовувати вже відомі часткові розв'язки навіть при відсутності ефективного загального методу рішення*

*Ключові слова: квантова модель обчислень, задача про прихований зсув, одностороння функція*

*Представлена алгебраическая задача о скрытом действии абелевой группы, к которой сводятся вопросы стойкости использования локально коммутативных отображений в качестве криптографических односторонних функций. Показано сведение этой задачи к известной в квантовой модели вычислений задаче о скрытом сдвиге, что позволяет использовать уже известные частичные решения даже при отсутствии эффективного общего метода решения*

*Ключевые слова: квантовая модель вычислений, задача о скрытом сдвиге, односторонняя функция*

УДК 004.056

# СКЛАДНІСТЬ ЗАДАЧІ ПРО ПРИХОВАНУ ДІЮ АБЕЛЕВОЇ ГРУПИ В КВАНТОВІЙ МОДЕЛІ ОБЧИСЛЕНЬ

**А. В. Фесенко**

Асистент

Кафедра математичних методів захисту  
інформації

Фізико-технічний інститут  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: andrey.fesenko@gmail.com

## 1. Вступ

Значний поштовх у розвитку квантової моделі обчислень відбувся в 1994 році після відкриття ефективного алгоритму Шора [1] для факторизації цілих чисел на квантовому комп'ютері завдяки його можливому застосуванню для атак на сучасні асиметричні криптосистеми, оскільки на складності задач факторизації та дискретного логарифму базується абсолютна більшість існуючих асиметричних криптографічних систем. У зв'язку із цим, а також у світлі останніх технологічних досягнень при побудові досить потуж-

ного квантового комп'ютера стає актуальним пошук нових односторонніх функцій і примітивів, які будуть стійкими навіть до атак з використанням квантового комп'ютера.

## 2. Квантова модель обчислень

Квантовий комп'ютер складається із квантово-механічної системи, обов'язково ізольованої від навколишнього середовища таким чином, щоб її поведінкою можна було ззовні керувати, але щоб жодна подія, яка