

Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції

Матеріали XIV Международной научно-практической
конференции

Materials of the 14th International scientific and practical conference

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

**MODERN INFORMATION AND INNOVATION
TECHNOLOGIES IN TRANSPORT**

MINTT-2022

**25–27 травня 2022 року
Херсон, Україна**

**25–27 мая 2022 года
Херсон, Украина**

**May 25–27, 2022
Kherson, Ukraine**

Організатори конференції:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНЬСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
ХЕРСОНЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА
МАКАРОВА
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КПІ ІМЕНІ І. СІКОРСЬКОГО»
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОФІЗИКИ І РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАН УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В.М. КАРАЗІНА
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГДИНСЬКИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
КЛАЙПЕДСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ЛИТВА)
БАТУМСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ (ГРУЗІЯ)
ПЕКІНСЬКИЙ ЄВРАЗИЙСЬКИЙ МІЖНАРОДНИЙ ЦЕНТР ЕКОНОМІЧНОГО І
КУЛЬТУРНОГО ОБМІНУ (КНР)
КРЮІНГОВА КОМПАНІЯ «MARLOW NAVIGATION» (КІПР)

Програмний комітет:

Бідюк П.І. – д.т.н., проф. (Україна);
Блінцов В.С. – д.т.н., проф. (Україна);
Букетов А.В. – д.т.н., проф. (Україна);
Варбанец Р.А. – д.т.н., проф. (Україна);
Винокурова О.А. – д.т.н., проф. (Україна);
Вюгар Беюкага огли Садигов – к.т.н., доц.,
(Азербайджан);
Гнатушенко В.В. – д.т.н., проф. (Україна);
Двірна О. – к.т.н., доц. (Польща);
Казак В.М. – д.т.н., проф. (Україна);
Куклін В.М. – д.ф.-м.н., проф. (Україна);
Леонов В.Є. – д.т.н., проф. (Україна);
Литвиненко В.В. – д.т.н. (Україна);
Любіч О.О. – д.е.н., проф. (Україна);

Мальцев А.С. – д.т.н., проф. (Україна);
Мельнік І.В. – д.т.н., проф. (Україна);
Осадчий С.І. – д.т.н., проф. (Україна);
Піпченко О.Д. – д.т.н., доц. (Україна);
Прохоренко Є.М. – д.т.н. (Україна);
Рева О.М. – д.т.н., проф. (Україна);
Рожков С.О. – д.т.н., проф. (Україна);
Рябенький В.М. – д.т.н., проф. (Україна);
Савченко О.Г. – д.ф.-м.н., проф. (Україна);
Хайбин Ю. – директор ПЄМЦЕКО (КНР);
Харченко В.П. – д.т.н., проф. (Україна);
Ходаков В.Є. – д.т.н., проф. (Україна);
Цимбал М.М. – д.т.н., проф. (Україна);
Янутенене Й. – д.т.н., проф. (Литва).

Організаційний комітет:

голова Чернявський Василь Васильович – ректор Херсонської державної морської академії;
заступник Бень Андрій Павлович – проректор з науково-педагогічної роботи;
голови
члени Настасенко Валентин Олексійович – професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії;
комітету:
Блах Ігор Володимирович – вчений секретар, начальник відділу технічної інформації;
Якущенко Сергій Вікторович – доцент кафедри судноводіння;
Семака Інна Миколаївна – технічний секретар, фахівець відділу технічної інформації.

ПЕРЕДМОВА

Шановні колеги!

Ви тримаєте в руках збірку тез доповідей Чотирнадцятої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2022)», метою якої є аналіз та узагальнення нових теоретичних і прикладних результатів щодо застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі. Конференція проходить у місті Херсоні, що розташоване на мальовничих берегах річки Дніпро, на базі старішого морського навчального закладу нашої держави – Херсонської державної морської академії. В організації та роботі конференції беруть участь провідні науково-дослідні та навчальні заклади України, Білорусі, Латвії, Грузії, Польщі, Литви, Китаю та інших країн зарубіжжя.

Основним завданням конференції є обговорення широкого кола нових наукових і практичних результатів застосування сучасних інформаційних технологій на транспорті; обмін ідеями та пошук нових пріоритетних напрямків наукових досліджень; встановлення та розвиток нових контактів у сфері наукового співробітництва між навчальними закладами, науковими установами та підприємствами України та зарубіжжя. Одна з особливостей конференції – залучення молодих науковців до розробки найбільш актуальних напрямків наукових досліджень у транспортній галузі.

Програмою конференції передбачено проведення пленарного засідання та робота фахівців у секціях: інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у транспортній галузі; тренажерні системи та людський фактор на транспорті; контроль, діагностика і прийняття рішень при управлінні рухомими об'єктами; безпека судноплавства; системний аналіз та математичне моделювання складних об'єктів; проблеми надійності та енергозбереження, екологічна безпека та ресурсозберігаючі технології; компетентнісний підхід в підготовці фахівців транспортної галузі.

Ми впевнені, що досить широка проблематика наукових праць конференції буде сприяти не тільки плідному аналізу та обговоренню вищезазначених питань, а й обміну ідеями та думками, пошуку пріоритетних напрямків наукових досліджень, встановленню нових контактів у сфері наукового співробітництва фахівців галузі, залученню молодих науковців до участі у вивченні найбільш актуальних напрямків досліджень у транспортній галузі.

На жаль, так сталося, що конференція проходить у вельми складний для нашої держави і нашого міста час – під час військової агресії росії та окупації м.Херсон. З зазначених обставин ми вимушені проводити наш захід лише в форматі online. Незважаючи на наявні проблеми з мобільним зв'язком в місті, маємо сподівання, що наш захід буде успішним, а ця збірка – побачить світ і буде доступною для авторів хоча б в електронній формі.

Організатори щиро дякують усім учасникам конференції та сподіваються, що MINTT-2022 стала добрим продовженням зустрічей та спілкування, початок яких покладено на попередніх конференціях.

Висловлюємо свою щирю подяку всім авторам доповідей за порозуміння та співпрацю з організаторами.

Бажаємо всім нових наукових ідей та досягнень, плідної роботи, нових відкриттів!

З повагою, Організаційний та Програмний комітети.

FOREWORD

Dear colleagues!

You are holding a proceedings of the Fourteenth International Scientific and Practical Conference «*Modern Information and Innovation Technologies in Transport (MINTT-2022)*», which aims to analyze and summarize new theoretical and applied results in the application of modern information and innovation technologies in transport. The conference is held in Kherson, city located on the picturesque banks of the Dnieper River, on the basis of the oldest maritime institution of our country – Kherson State Maritime Academy. Leading research and educational institutions of Ukraine, Belarus, Latvia, Georgia, Poland, Lithuania, China and other foreign countries take part in organization and work of the conference.

The main task of the conference is to discuss a wide range of new scientific and practical results of modern information technologies application in transport; exchange of ideas and search for new priority areas of research; establishment and development of new contacts in the field of scientific cooperation between educational and research institutions, enterprises of Ukraine and abroad. One of the features of the conference is the involvement of young scientists in the development of the most relevant research areas in transport field.

The conference program includes a plenary session and work of specialists in sections: intelligent decision support systems in the transport industry; training systems and human factor in transport; control, diagnostics and decision-making in moving objects management; shipping safety; system analysis and mathematical modeling of complex objects; reliability and energy saving issues, environmental safety and resource-saving technologies; competency approach in transport professionals training.

We are sure that a wide range of scientific papers of the conference will contribute not only to fruitful analysis and discussion of the above issues, but also the exchange of ideas and opinions, finding priority areas of research, establishing new contacts in the field of scientific cooperation, attracting young scientists to studying the most relevant research areas in transport industry.

Unfortunately, it happens so that the conference is being held at a very difficult time for our state and our city - during russia's military aggression and occupation of Kherson. Due to these circumstances, we must hold our event online only. Despite the existing problems with mobile communication in the city, we hope that our event will be successful, and the proceedings will be released and available to the authors in at least electronic format.

The organizers sincerely thank all conference participants and hope that MINTT-2022 was a good continuation of the meetings and communication, which began at previous conferences.

We express our sincere gratitude to all the authors of the reports for their understanding and cooperation with the organizers.

We wish everyone new scientific ideas and achievements, fruitful work, new discoveries!

Sincerely, Organizing and Program Committees.

СЕКЦІЯ:
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ ОБЕРТАННЯ СУДНА З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

В.В. Чернявський, А.П. Бень*, О.М. Товстокорий*, С.М. Зінченко**

**Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. За останні роки суттєво зросла кількість суден та їх розміри, у той час як розміри портів зростають значно меншими темпами. Виникла актуальна необхідність оптимізації процесів керування судном у стиснених водах. Одним із напрямків такої оптимізації є використання полюсу повороту та врахування положення центру обертання при маневруванні. Багато статей авторів присвячені саме цим питанням. Так, у статті [1] «Behavior and Handling of Ships» Н. Ноуер досліджує поведінку центру обертання у залежності від ряду зовнішніх факторів. Зокрема, на прикладі двох буксирів, що штовхають судно лагом, показано, що поява поздовжньої швидкості судна призводить до його обертання. Автор пояснює цей ефект зміною плечей буксирів внаслідок зміщення центру обертання судна вперед. У роботі [2] А.Г. Chase «Sailing Vessel Handling and Seamanship – The Moving Pivot Point» описані експерименти із центром обертання у порту Ревель. Використовуючи рушії для створення симетричних бокових сил, було відзначено, що за відсутності руху вперед ці бічні сили викликають чистий бічний рух, але, за наявності поздовжнього руху судна вперед, додатково з'являється обертальний рух. На думку автора, це пов'язано із зміщенням центру обертання судна у напрямку його руху. Автор також надає практичні рекомендації щодо використання цього ефекту для керування судном (збільшення керуючого моменту або зменшення впливу зовнішніх факторів). У 2008 році газета «The Pilot», яка є офіційним органом Асоціації морських лоцманів Сполученого Королівства, опублікувала статтю капітана Н. Sauvier під назвою "The Pivot Point" [3], у якій було зазначено, що центр бокового опору судна знаходиться між центром гравітації і центром підводної частини судна, із врахуванням поля тиску навколо судна. У роботах [4-9] зроблено припущення, що центр обертання судна повинен знаходитися у точці, відносно якої довільний обертаючий момент має найбільшу ефективність. Виходячи із цього припущення, вперше отримано формулу зміщення центру обертання відносно центру гравітації, у залежності від швидкості судна. У роботах [10, 11] приведено метод розрахунку положення полюсу повороту із використанням вимірних тангенціальних швидкостей носа і корми судна, що дозволяє значно підвищити точність розрахунку положення полюсу повороту. У роботах [12-35] розглянуті питання використання автоматичних модулів керування у автоматизованих системах для вирішення різних функціональних задач, включаючи маневрування з використанням полюсу повороту і центру обертання.

Актуальність дослідження. Із зазначеного вище видно, що на сьогодні існує актуальна необхідність оптимізації процесів керування у стиснених водах, з метою зменшення необхідного простору для маневрування. Цього можна досягти за рахунок правильного уявлення про рух судна у водному середовищі, яке залежить від знання поведінки центру обертання. Тому, вивчення питань, пов'язаних із визначенням положення центру обертання являється актуальною науково – технічною задачею.

Постановка задачі. На рис.1 наведена розрахункова схема із нанесеними позначеннями: сили упору гвинта P , кута відхилення керма δ , центру обертання O , бокової швидкості V_y центру обертання O , кутової швидкості обертання судна ω_z , вимірної бокової швидкості мідель шпангоуту V_y^m , вимірної кормової швидкості V_k^m , довжини судна L , відстані від корми до мідель шпангоуту $\frac{L}{2}$, відстані від мідель

шпангоуту до центру обертання Δl . Потрібно оцінити параметри вектору стану та зміщення Δl центру обертання відносно мідель шпангоуту.

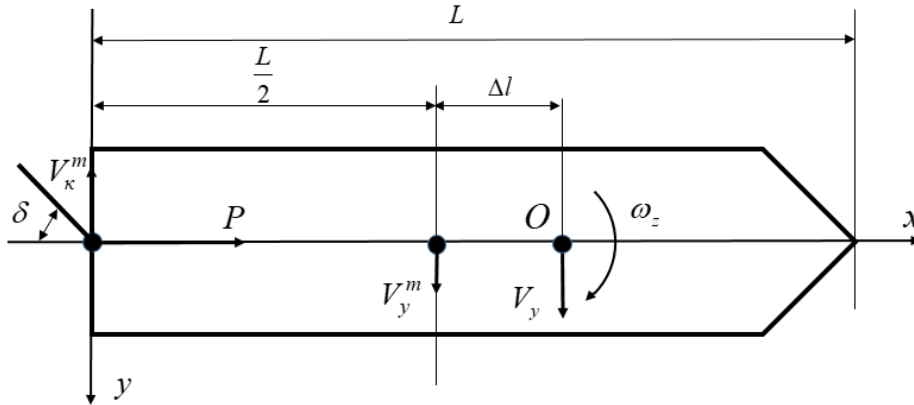


Рисунок 1 – Розрахункова схема

Результати дослідження. Спрощена система лінеаризованих диференційних рівнянь лінійного та кутового руху судна має вигляд

$$\begin{cases} m\dot{V}_x = \frac{\partial P_x}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_x}{\partial V_x} V_x - \frac{\partial F_x}{\partial \delta} \delta \\ m\dot{V}_y = \frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_y}{\partial V_y} V_y + \frac{\partial F_y}{\partial \delta} \delta \\ I_z \dot{\omega}_z = -\frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z - \frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta \left(\frac{L}{2} + \Delta l\right) - \frac{\partial F_y}{\partial \delta} \delta \left(\frac{L}{2} + \Delta l\right) \end{cases} \quad (1)$$

На основі системи (1) записуємо математичну модель спостерігаючого пристрою Льюенберга

$$\begin{cases} m\dot{V}_x = \frac{\partial P_x}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_x}{\partial V_x} V_x - \frac{\partial F_x}{\partial \delta} \delta + \lambda_1 (V_x^m - V_x) \\ m\dot{V}_y = \frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_y}{\partial V_y} V_y + \frac{\partial F_y}{\partial \delta} \delta + \lambda_2 (V_y^m + \omega_z \Delta l - V_y) \\ I_z \dot{\omega}_z = -\frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z - \frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta \left(\frac{L}{2} + \Delta l\right) - \frac{\partial F_y}{\partial \delta} \delta \left(\frac{L}{2} + \Delta l\right) + \lambda_3 (\omega_z^m - \omega_z) \end{cases} \quad (2)$$

де V_x^m , V_y^m , ω_z^m - виміряні значення поздовжньої швидкості, бокової швидкості мідель шпангоуту та кутової швидкості судна.

Із рівняння для кормової швидкості судна $V_\kappa^m = V_y - \omega_z \left(\frac{L}{2} + \Delta l\right)$, див. рис.1, знаходимо зміщення центру обертання відносно мідель шпангоуту

$$\Delta l = \frac{V_y - V_\kappa^m}{\omega_z} - \frac{L}{2}. \quad (3)$$

Зміщення Δl (3) враховується у каналах бокового та кутового руху (друге та третє рівняння системи (2)). Для згладжування інформації використовуємо аперіодичну ланку

$$\dot{\Delta l} = \frac{1}{T} \left[-\Delta l + \frac{V_y - V_\kappa^m}{\omega_z} - \frac{L}{2} \right].$$

Повна система диференціальних рівнянь для спостереження параметрів вектору стану і положення центру обертання має вигляд

$$\begin{cases} m \dot{V}_x = \frac{\partial P_x}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_x}{\partial V_x} V_x - \frac{\partial F_x}{\partial \delta} \delta + \lambda_1 (V_x^m - V_x) \\ m \dot{V}_y = \frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_y}{\partial V_y} V_y + \frac{\partial F_y}{\partial \delta} \delta + \lambda_2 (V_y^m + \omega_z \Delta l - V_y) \\ I_z \dot{\omega}_z = -\frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z - \frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta \left(\frac{L}{2} + \Delta l \right) - \frac{\partial F_y}{\partial \delta} \delta \left(\frac{L}{2} + \Delta l \right) + \lambda_3 (\omega_z^m - \omega_z) \\ \dot{\Delta l} = \frac{1}{T} \left[-\Delta l + \frac{V_y - V_\kappa^m}{\omega_z} - \frac{L}{2} \right] \end{cases} \quad (4)$$

Висновки.

- розроблено метод оцінювання параметрів вектору стану і положення центру обертання із використанням лінеаризованої математичної моделі лінійного та кутового руху судна, на відміну від існуючих методів забезпечує постійне оцінювання положення центру обертання та його подальше використання у системі керування, що дозволяє оптимізувати рух судна та зменшити необхідний простір для маневрування;
- розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення модулів автоматичного керування у автоматизованій системі, що використовують даний метод;
- працездатність та ефективність методу, алгоритмічного і програмного забезпечення перевірені математичним моделюванням у середовищі MATLAB та на стенді імітаційного моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hooyer H.H. Behavior and Handling of Ships. *Cornell Maritime Press*. 1983.
2. Chase A.G. Sailing Vessel Handling and Seamanship – The Moving Pivot Point *The Northern Mariner*. 1999. P. 53-59. https://www.cnrs-scrn.org/northern_mariner/vol09/nm_9_3_53-59.pdf
3. Cauvier H. The Pivot Point. The PILOT. *The official organ of the United Kingdom Maritime Pilots' Association*. 2008. Vol. 295. <http://www.pilotmag.co.uk/wp-content/uploads/2008/06/pilotmag-295-final-web.pdf>
4. Зінченко С.М. Теоретичні та практичні засади автоматизації процесів керування рухом суден на основі відкритих модульних систем. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, Херсонський національний технічний університет, Херсон, 2021р., 314с.
5. Zinchenko Serhii, Tovstokoryi Oleh, Nosov Pavlo, Popovych Ihor, Kyrychenko Kostiantyn. Pivot Point position determination and its use for maneuvering the vessel // Ship and offshore structure. DOI:10.1080/17445302.2022.2052480, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17445302.2022.2052480>
6. Zinchenko S., Mamenko P., Nosov P., Mateichuk V., Kyrychenko K., Grosheva O. Use of the Pivot Point concept for automatic control of a vessel without drift angle // Materials of the international scientific and practical conference MPP&O-2022, Одеса – Стамбул – Одеса, 18-21 April 2022.
7. Zinchenko S., Tovstokoriy O. Using the rotation center and Pivot Point to optimize vessel's maneuver // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference

- "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", Kherson, September 9-12, 2020, p.108-112
8. S. Zinchenko, O. Tovstokoryi. What is the Pivot Point and how to use it to control the vessel // Materials of the XII International Scientific and Practical Conference "Advanced Information and Innovative Technologies for Transport (MINTT - 2020), May 27-29, 2020, Kherson.
 9. Zinchenko S.M., captain Tovstokoryi O.M. Determination Pivot Point position and its use for maneuvering the vessel // Materials of the II International Scientific and Practical Maritime Conference of the Department of Power Plants and TE of Odessa National Maritime University MPP & O-2020, April 2020, ODESSA-ISTANBUL-ODESSA. https://drive.google.com/file/d/1iHP7dN5IuzYEbG4f_ISIUlv441bj8Rp/view
 10. Товстокорый О.Н. Экспериментальное определение положения полюса поворота по тангенциальным составляющим носа и кормы // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2014. - № 1(10). – с.57-63.
 11. Товстокорый О.Н., Мальцев С. Э. Определение положения полюса поворота с помощью доплеровского лага // Судовождение: Сборник научных трудов НУ «ОМА». - вып.26. - Одесса: ИздатИнформ. - 2016. – С.183 –190.
 12. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г.. Расхождение с маневрирующими целями // Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 36-43, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/555/499>
 13. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Расчет и реализация маневра расхождения с судами целями в бортовой ЦВМ // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017р., с. 230- 235
 14. Зинченко С.М., Матейчук В.М., Ляшенко В.Г. Використання інформаційних систем моделювання для розробки та тестування систем автоматичного керування рухом судна // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.27-29
 15. Зинченко С.Н., Маменко П.П., Грошева О.А. Сокращение времени численного интегрирования математической модели судна в бортовом вычислителе // Науковий вісник ХДМА №1(18), с. 171-177, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/526/469>
 16. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Синтез оптимального управления судном с граничными условиями // Науковий вісник ХДМА №1(18), с. 18-26, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>
 17. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г. Использование нейросетевой модели судна для решения задач управления // Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 231-237, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/587/524>
 18. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Оценка маневренных возможностей судна с помощью нейросетевой модели, синтезируемой в процессе его штатной эксплуатации // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017р., с. 236-240
 19. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Оптимальное управление избыточными структурами азиподов // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.78-81
 20. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий // Матеріали XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019), 28-30 травня 2019р., Херсон с. 177-178
 21. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Избыточность по управлению как количественная мера маневренности судна //

- Матеріали XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019), 28-30 травня 2019 р., Херсон с. 97 – 99
22. Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O., Mateichuk V.M. Automatic control of the vessel's movement under external conditions // Науковий вісник ХДМА, №2(21), 2019. – с.10-15. DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/480/416>
 23. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Использование математической модели ЧЭ гирокомпаса для учета инерционной девиации // Матеріали VI МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 11-14 вересня 2019, с. 203 – 206
 24. Moiseenko V.S., Zinchenko S.M., captain Tovstokoryi O.M. Automatic beam control of laser – optical position reference system // Materials of the II International Scientific and Practical Maritime Conference of the Department of Power Plants and TE of Odessa National Maritime University MPP & O-2020, April 2020, Odessa-Istambul-Odessa. <https://drive.google.com/file/d/1HEX2RVuA1KV5JjMfQcqYZ1f4SCFMcy6a/view>
 25. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Mateichuk V.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O. Automatic Collision Avoidance with many targets, including maneuvering ones // Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of professors Fomin Yu. Ya. And Semenov V. S., Odessa (Ukraine) – Istambul (Turkey) – Odessa (Ukraine), 24-28 April 2019, pp. 343-349.
 26. Mamenko P.P., Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Solution of the Problem of optimizing route with using the risk criterion // Materials of the International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jeletznyi Port.
 27. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Kobets V., Abramov G. Mathematical support of the vessel information and risk control systems // CEUR Workshop Proceedings, 2805, P. 335-354, 2020. <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>
 28. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices // International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jeletznyi Port.
 29. Mateichuk V., Zinchenko S., Nosov P. Automatic evaluation of skill of controlling ship in navigation simulator // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", September 9-12, 2020, p. 149-152, Kherson
 30. Zinchenko S. Study of a minimally excessive complanary control structure with two azimuth control devices // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", September 9-12, 2020, p. 319-325, Kherson.
 31. Zinchenko S., Moiseenko V. Increasing the accuracy and reliability of a dynamic positioning laser system // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", September 9-12, 2020, p. 326-330, Kherson.
 32. Cherniavskiy V.V., Zinchenko S.M., Nosov P.S. The use of excessive actuator structures in automatic vessel movement control systems // Materials of the III International Maritime Scientific Conference of the ship power plants and technical operation department of odessa national maritime university (MPP&O-2021), Odessa, April 29-30, 2021, p. 466-472. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36574.15681>
 33. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability // Науковий вісник ХДМА, 2021. № 3(21). С. 23-35.
 34. Зинченко С.Н., Гарболинская О.И., Шалаева А.А. Создание упрощенной математической модели судна для решения прикладных задач управления // Матеріали X МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», Херсон, 29-31 травня 2018р., с.208-211

УДК 656.61.052:681.51

МІНІМІЗАЦІЯ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ НЕМИНУЧОМУ ЗІТКНЕННІ СУДЕН

Зінченко С.М., Кириченко К.В., Маменко П.П., Матейчук В.М.

*Херсонська держава морська академія
(Україна)*

Вступ. За останні 10-20 років значно зросла інтенсивність навігації та швидкість суден, а разом з ними збільшився і потік інформації. Судноводіям стає все важче знаходити правильні управлінські рішення, особливо в критичних ситуаціях, що є причиною збільшення кількості аварій на морському транспорті. Статистика аварій у світовій морській індустрії свідчить, що 75% всіх аварій відбувається з вини людського фактора. Тому, на думку експертів, значного зниження аварійності можна досягти лише за рахунок зменшення людського втручання в управління, а саме за рахунок створення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень, ергатичних систем та автоматизованих систем з модулями автоматичного керування. Системи підтримки прийняття рішень контролюють роботу окремих навігаційних модулів і, якщо робочі параметри модулів виходять за допустимі межі, видають попереджувальні повідомлення або навіть дають «пораду» щодо того, як керувати судном. Капітан судна повинен обробити отриману інформацію, перш ніж прийняти рішення, що також потребує часу. У зв'язку з цим особливої уваги заслуговують автоматизовані системи керування з автоматичними модулями, коли людський фактор максимально виключений із контуру керування [1-27]. У цьому випадку навігатор лише приймає рішення про активацію автоматичного режиму керування і спостерігає за його роботою. Питання зменшення збитків при неминучому зіткненні суден розглядалося також у попередніх роботах авторів [1, 2].

Актуальність дослідження. У даному дослідженні розроблено математичне забезпечення модуля автоматичного керування рухом судна при неминучому зіткненні, коли стрес не є найкращим порадиником штурмана. Проведений аналіз літературних джерел показав, що такі питання раніше не розглядалися. Тому, розробка методів, алгоритмічного та програмного забезпечення автоматичних модулів керування рухом суден у випадках неминучого зіткнення є актуальною науково-технічною задачею.

Постановка проблеми. Необхідно розробити метод, алгоритмічне та програмне забезпечення модуля автоматичного керування рухом судна автоматизованої системи, які дозволили б мінімізувати кінетичну енергію зіткнення судна і цілі у випадку, коли уникнути даного зіткнення неможливо.

Результати дослідження. Кінетична енергія зіткнення суден може бути розрахована за формулою

$$K = m \frac{(V \cos \Delta\varphi)^2}{2} \quad (1)$$

Як видно із (1), кінетична енергія зіткнення залежить від двох параметрів, що підлягають керуванню: швидкості власного судна V та різниці курсів $\Delta\varphi$. Мінімальне значення кінетичної енергії $K = 0$ досягається при значенні цих параметрів $V = 0$ та/або $\Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2} + \pi n$.

Ідея методу полягає у організації найшвидшого зменшення кінетичної енергії (1) по градієнту у напрямку мінімального значення $K = 0$ шляхом розрахунку відповідних параметрів руху V , $\Delta\varphi$ та подальшої їх реалізації засобами системи керування.

На рис. 1 зображена схема взаємного зближення суден.

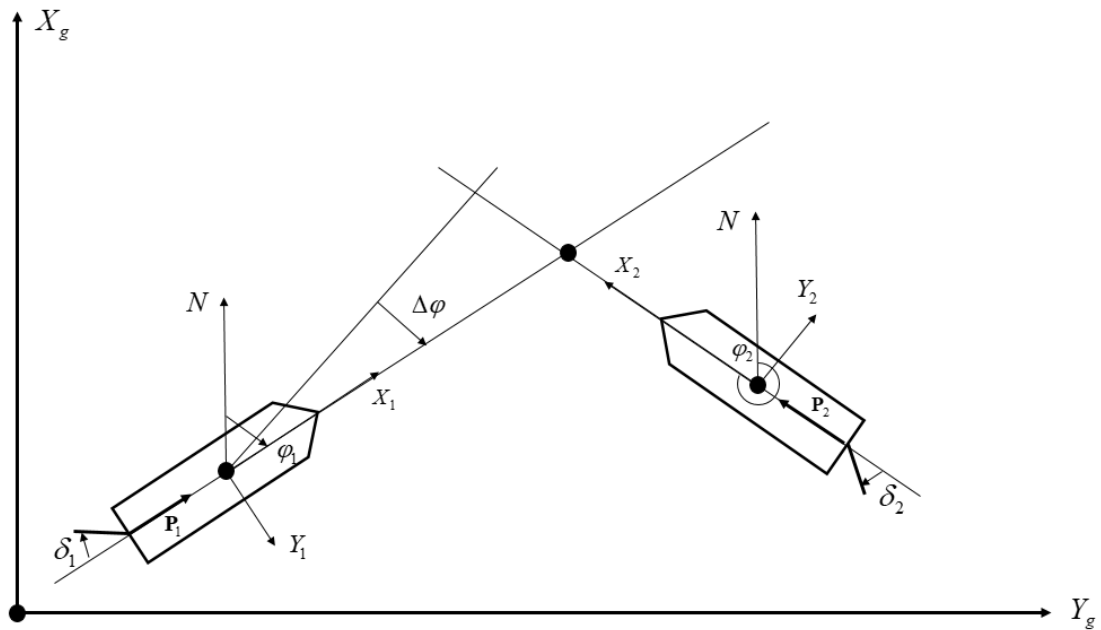


Рисунок 1 – Схема взаємного зближення суден

Гradient функції (1) по параметрам руху V , $\Delta\varphi$ має вигляд

$$\text{grad}K = \left(\frac{\partial K}{\partial V}, \frac{\partial K}{\partial \Delta\varphi} \right) = \frac{m}{2} (2V \cos \Delta\varphi, -2V^2 \cos \Delta\varphi \sin \Delta\varphi) \quad (2)$$

У початковий момент часу

$$\text{grad}K(0) = \frac{m}{2} (2V(0) \cos \Delta\varphi(0), -2V(0)^2 \cos \Delta\varphi(0) \sin \Delta\varphi(0)) \quad (3)$$

Для забезпечення заданого напрямку $\text{grad}K(0)$ зменшення кінетичної енергії на наступних тактах обчислення, потрібно виконання умови

$$\frac{\text{grad}_y K}{\text{grad}_x K} = -V(0) \sin \Delta\varphi(0) = \text{const} = C(0) \quad (4)$$

Із врахуванням (4), отримуємо

$$\sin \Delta\varphi(n) = -\frac{C(0)}{V(n)} \quad (5)$$

Рівняння (5) накладає одне обмеження на два параметри руху V , $\Delta\varphi$, тобто існує нескінченна кількість варіантів зменшення кінетичної енергії (1) по gradientу (2) і поставлена задача є оптимізаційною. Проте, вирішення оптимізаційних задач пов'язане із можливими ризиками поганої збіжності методів пошуку або навіть у неможливості знаходження оптимального рішення. Тому, у даному дослідженні розглядається один із можливих варіантів керування з активним гальмуванням, що дозволяє знайти кінцеві формули визначення керувань.

Лінеаризована система лінійного та кутового руху судна може бути записана у вигляді

$$\begin{cases} m\dot{V} = \frac{\partial P(\Theta)}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial Q(V)}{\partial V} V \\ I_z \dot{\omega}_z = \frac{\partial M_z(\delta)}{\partial \delta} \delta - \frac{\partial M_z(\omega_z)}{\partial \omega_z} \omega_z \\ \dot{\varphi} = \omega_z \end{cases} \quad (6)$$

або у дискретній формі, для методу Ейлера

$$\begin{cases} V(n) = V(n-1) + \frac{\Delta t}{m} \left[\frac{\partial P(\Theta)}{\partial \Theta} \Theta(n-1) - \frac{\partial Q(V)}{\partial V} V(n-1) \right] \\ \omega_z(n) = \omega_z(n-1) + \frac{\Delta t}{I_z} \left[\frac{\partial M_z(\delta)}{\partial \delta} \delta(n-1) - \frac{\partial M_z(\omega_z)}{\partial \omega_z} \omega_z(n-1) \right] \\ \Delta \varphi(n) = \Delta \varphi(n-1) + \Delta t \omega_z(n-1) \end{cases} \quad (7)$$

При активному гальмуванні $\Theta(n) = -\Theta^{\max}$, із першого рівняння системи (7) отримуємо рекурентну формулу для оцінки швидкості судна на наступному кроці обчислення

$$V(n+1) = V(n) + \frac{\Delta t}{m} \left[\frac{\partial P(\Theta)}{\partial \Theta} (-\Theta^{\max}) - \frac{\partial Q(V)}{\partial V} V(n) \right] \quad (8)$$

Із рівняння (5) знаходимо відповідне значення $\Delta \varphi^*(n)$, що забезпечить скидання кінетичної енергії по градієнту $gradK$

$$\Delta \varphi^*(n+1) = -\arcsin \left\{ \frac{C(0)}{V(n+1)} \right\}, n = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

Із другого та третього рівняння системи (7) також знаходимо оцінку $\Delta \varphi(n+1)$, яку прирівнюємо до $\Delta \varphi^*(n+1)$, $\Delta \varphi^*(n+1) = \Delta \varphi(n+1)$, $n = 1, 2, \dots, N$

$$\Delta \varphi^*(n+1) = \Delta \varphi^*(n) + \omega_z(n) \Delta t + \frac{\Delta t^2}{I_z} \left[\frac{\partial M_z}{\partial \delta} \delta(n) - \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z(n) \right] \quad (10)$$

Із рівняння (10) знаходимо необхідне відхилення керма на поточному такті обчислення n

$$\delta(n) = \frac{\partial \delta}{\partial M_z} \left[\frac{I_z}{\Delta t^2} \left[\Delta \varphi^*(n+1) - \Delta \varphi^*(n) - \omega_z(n) \Delta t \right] + \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z(n) \right] \quad (11)$$

Як видно із рівняння (11), для обчислення $\delta(n)$ на поточному кроці використовуються прогнозовані значення $\Delta \varphi^*(n+1)$ наступного кроку обчислення, які розраховуються за формулою (9) з використанням прогнозованої швидкості $V(n+1)$ із формули (8). Щоб похибка прогнозування із часом не збільшувалася, доцільно у формулі (8) використовувати вимірне значення швидкості на поточному кроці обчислення $V(n) = V_m(n)$.

Таким чином, для забезпечення найшвидшого скидання кінетичного моменту, необхідно телеграф встановити у положення $\Theta(n) = -\Theta^{\max}$, а відхилення стерна визначати за формулою (11).

Експеримент. Для перевірки працездатності та ефективності методу, алгоритмічного і програмного забезпечення модуля автоматичного керування рухом судна при неминучому зіткненні із ціллю, проведено експеримент на стенді імітаційного моделювання [24-29], створеного авторами на базі навігаційного тренажеру Navi Trainer 5000. Стенд імітаційного моделювання дозволяє відпрацьовувати програмне забезпечення модулів системи керування у замкнутій схемі з навігаційним тренажером, використовуючи усі його переваги. Результати моделювання підтвердили ефективність та працездатність методу, алгоритмічного та програмного забезпечення модуля оптимального керування рухом судна, що мінімізує збитки у випадках неминучого зіткнення.

Висновки. Розглянуті питання автоматичного керування рухом судна у випадку неминучого зіткнення із ціллю з метою мінімізації пошкоджень.

1. Запропоновано проводити скидання кінетичної енергії зіткнення по градієнту. Визначено градієнт кінетичної енергії зіткнення, як функцію параметрів руху - швидкості власного судна та різниці курсів судна і цілі.
2. Отримано формулу залежності параметрів руху, що забезпечує скидання кінетичної енергії зіткнення по градієнту, показано, що дана задача може розглядатися також як оптимізаційна.
3. Розглянуто один із приватних випадків вирішення задачі, який полягає у визначенні додаткового обмеження – використання активного гальмування, що дозволило знайти кінцеві формули розрахунку відхилення керма.
4. Для запропонованого методу скидання кінетичної енергії зіткнення по градієнту розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для модуля автоматичного керування рухом судна у випадках неминучого зіткнення.
5. Працездатність та ефективність методу, алгоритмічного та програмного забезпечення перевірені математичним моделюванням у замкнутій схемі із навігаційним тренажером Navi Trainer 5000.

REFERENCES

1. Kyrychenko K.V., Zinchenko S.M., Nosov P. S. Minimizing damage in the event of imminent collision. Proceedings of the I International scientific-practical conference «Current transport safety issues, in energy, infrastructure (STEI-2021)», 2021, pp. 234-238.
2. Kyrychenko K.V., Grosheva O.O., Tovstokoryi O.M., Mateichuk V.M., Moiseenko V.S., Mamenko P.P. Solving the problem of minimization damage in the event of imminent collision. Materials of the Ith international scientific and practical conference «Problems of sustainable development of the marine industry (PSDMI-2021)», 2021, pp. 112-115.
3. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г.. Расхождение с маневрирующими целями // Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 36-43, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/555/499>
4. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Расчет и реализация маневра расхождения с судами целями в бортовой ЦВМ // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017р., с. 230-235
5. Зинченко С.М., Матейчук В.М., Ляшенко В.Г. Використання інформаційних систем моделювання для розробки та тестування систем автоматичного керування рухом судна // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.27-29

6. Зинченко С.Н., Маменко П.П., Грошева О.А. Сокращение времени численного интегрирования математической модели судна в бортовом вычислителе // Науковий вісник ХДМА №1(18), с. 171-177, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/526/469>
7. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Синтез оптимального управления судном с граничными условиями // Науковий вісник ХДМА №1(18), с. 18-26, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>
8. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г. Использование нейросетевой модели судна для решения задач управления // Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 231-237, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/587/524>
9. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Оценка маневренных возможностей судна с помощью нейросетевой модели, синтезируемой в процессе его штатной эксплуатации // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017р., с. 236-240
10. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Оптимальное управление избыточными структурами азиподов // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.78-81
11. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий // Матеріали XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019)», 28-30 травня 2019р., Херсон с. 177-178
12. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Избыточность по управлению как количественная мера маневренности судна // Матеріали XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019)», 28-30 травня 2019 р., Херсон с. 97 – 99
13. Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O., Mateichuk V.M. Automatic control of the vessel's movement under external conditions // Науковий вісник ХДМА, №2(21), 2019. – с.10-15. DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/480/416>
14. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Использование математической модели ЧЭ гирокомпаса для учета инерционной девиации // Матеріали VI МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 11-14 вересня 2019, с. 203 – 206
15. Moiseenko V.S., Zinchenko S.M., captain Tovstokoryi O.M. Automatic beam control of laser – optical position reference system // Materials of the II International Scientific and Practical Maritime Conference of the Department of Power Plants and TE of Odessa National Maritime University MPP & O-2020, April 2020, ODESSA-ISTANBUL-ODESSA. <https://drive.google.com/file/d/1HEX2RVuA1KV5JjMfQcqYZ1f4SCFMcy6a/view>
16. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Mateichuk V.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O. Automatic Collision Avoidance with many targets, including maneuvering ones // Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of professors Fomin Yu. Ya. And Semenov V. S., Odessa (Ukraine) – Istanbul (Turkey) – Odessa (Ukraine), 24-28 April 2019, pp. 343-349.
17. Zinchenko S., Tovstokoryi O. What is the Pivot Point and how to use it to control the vessel // Materials of the XII International Scientific and Practical Conference "Advanced Information and Innovative Technologies for Transport (MINTT - 2020), May 27-29, 2020, Kherson

18. Mamenko P.P., Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Solution of the Problem of optimizing route with using the risk criterion // Materials of the International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jelezny Port.
19. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Kobets V., Abramov G. Mathematical support of the vessel information and risk control systems // CEUR Workshop Proceedings, 2805, P. 335-354, 2020. <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>
20. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices // International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jelezny Port.
21. Mateichuk V., Zinchenko S., Nosov P. Automatic evaluation of skill of controlling ship in navigation simulator // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", September 9-12, 2020, p. 149-152, Kherson
22. Zinchenko S. Study of a minimally excessive complanary control structure with two azimuth control devices // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", September 9-12, 2020, p. 319-325, Kherson.
23. Zinchenko S., Moiseenko V. Increasing the accuracy and reliability of a dynamic positioning laser system // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", September 9-12, 2020, p. 326-330, Kherson.
24. Cherniavskiy V.V., Zinchenko S.M., Nosov P.S. The use of excessive actuators structures in automatic vessel movement control systems // Materials of the III International Maritime Scientific Conference of the ship power plants and technical operation department of odessa national maritime university (MPP&O-2021), Odessa, April 29-30, 2021, p. 466-472. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36574.15681>
25. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability // Науковий вісник ХДМА, 2021. № 3(21). С. 23-35.
26. Зинченко С.Н., Гарболинская О.И., Шалаева А.А. Создание упрощенной математической модели судна для решения прикладных задач управления // Матеріали Х МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», Херсон, 29-31 травня 2018р., с.208-211
27. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г. Оптимальное управление судном при подходе к объекту швартови // Матеріали Х МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», Херсон, 29-31 травня 2018р., с.56-59

ВРАХУВАННЯ НАЯВНОГО ДЕМФУВАННЯ ТА СПЕКТРУ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ У ЗАДАЧІ АВТОМАТИЧНОГО ШТОРМУВАННЯ

Матейчук В.М., Зінченко С.М., Маменко П.П., Кириченко К.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Для полегшення завдання керування судном у шторм рядом вчених були запропоновані спеціальні діаграми для вибору курсу і швидкості судна у штормових умовах. Такі діаграми розроблені В. Г. Власовим, С. Н. Благовещенским, Л. М. Ногідом, В. Б. Ліпісом. Проте, практичного застосування вони не знайшли через їх складність. Найбільш простими є штормові діаграми Ю.В. Ремеза, які дозволяють визначати несприятливі поєднання швидкості судна і курсових кутів бігу хвиль - так звані резонансні зони, що дає судноводієві можливість враховувати їх при визначенні безпечного курсу та швидкості штормування. Резонансні зони будуються у припущенні, що вдаваний період хвилювання τ відрізняється від періоду власних коливань судна не більше ніж

$$0,7T_B \leq \tau \leq 1,3T_B$$

Практичне застосування штормових діаграм Ю. В. Ремеза також обмежене через низьку точність розрахунків, яка визначається ручними графічними побудовами, та ще й в шторм, візуальним і досить приблизним визначенням вхідних параметрів - висоти і напрямку хвиль, значного впливу людського фактору на процеси прийняття рішення у критичних умовах. Крім того, штормові діаграми Ремеза не враховують той факт, що не всі резонансні частоти складових зовнішніх коливань (хвиль) є небезпечними, а лише ті, енергія яких перевищує енергію демпфування (заспокоєння) судна. Не врахування цього факту призводить до значного розширення резонансної зони.

Актуальність дослідження. Враховуючи вище наведене, розробка більш досконалих методів та автоматизація процесів штормування є актуальною науково – технічною задачею.

Постановка задачі. Для штатного обладнання судна: датчиків лінійної та кутової швидкості, датчика курсу, додаткових датчиків вимірювання параметрів хвилювання, потрібно розробити метод, алгоритмічне та програмне забезпечення модуля автоматичного штормування у автоматизованій системі, які б дозволили суттєво знизити вплив людського фактору, підвищити надійність та зменшити виснаження екіпажу під час штормування судна.

Результати дослідження. У роботах [1-23] авторами розглянуті модулі автоматичного керування у автоматизованих системах при вирішенні різноманітних задач. Зокрема, у роботах [1-4] розглянуто спосіб та система автоматичного штормування судна на основі діаграми Ю. В. Ремеза. Система автоматично вимірює параметри руху судна та параметри хвиль, розраховує безпечну швидкість і курс штормування та реалізує їх з використанням автоматики керма та силової енергетичної установки.

У даному дослідженні додатково розглянута можливість використання швидкого перетворення Фур'є для визначення спектру зовнішніх впливів та врахування природнього демпфування судна у каналі керування.

Диференціальне рівняння хитавиці судна у каналі крену можна записати у вигляді

$$\ddot{\varphi} + \varepsilon_g \dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = k \sin \omega t \quad (1)$$

де ε_g – декремент згасання, ω_0 – частота власних коливань судна, ω – частота зовнішніх впливів, k – амплітуда зовнішніх впливів, φ – кут крену.

Загальний розв’язок рівняння (1) являється сумою рішень однорідного рівняння і частинного рішення. Рішення однорідного рівняння

$$\ddot{\varphi} + \varepsilon_g \dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0 \quad (2)$$

розшукуємо у вигляді $\varphi_0 = e^{\lambda t}$.

після підстановки цього рішення у рівняння (2), отримуємо характеристичне рівняння

$$\lambda^2 + \varepsilon_g \lambda + \omega_0 = 0,$$

коренями якого є

$$\lambda_{1,2) = -\frac{\varepsilon_g}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_g}{2}\right)^2 - \omega_0}, \quad (3)$$

$$\varphi_0(t) = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}, \quad (4)$$

де C_1, C_2 визначаються граничними умовами у початковий момент часу $\varphi_0(0) = \varphi_0$,

$$\dot{\varphi}_0(0) = \dot{\varphi}_0$$

$$C_1 = \varphi_0,$$

$$C_2 = \frac{\dot{\varphi}_0 - \varphi_0 \lambda_0}{\Omega_0},$$

$$\lambda_0 = -\frac{\varepsilon_g}{2}, \Omega_0 = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_g}{2}\right)^2 - \omega_0}$$

Як видно із рівнянь (3), (4), рішення $\varphi_0(t)$ буде прагнути до нуля із часом.

Частинне рішення рівняння (1) розшукуємо у вигляді:

$$\varphi_n(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad (5)$$

Після підстановки рівняння (5) у рівняння (1) та не складних перетворень, знаходимо коефіцієнти A, B

$$A = \frac{-k\omega\varepsilon_g}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + \omega^2\varepsilon_g^2} \quad (6)$$

$$B = \frac{-k(\omega^2 - \omega_0^2)}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + \omega^2\varepsilon_g^2} \quad (7)$$

Так як кут крену $\varphi_n(t)$ не повинен перевищувати допустимий φ^{\max} , враховуючи (6), (7), отримуємо

$$k \leq \varphi^{max} \sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + \omega^2 \varepsilon_g^2} \quad (8)$$

Для $\omega = \omega_0$, нерівність (8) спрощується

$$k \leq \varphi^{max} \omega_0 \varepsilon_g \quad (9)$$

Таким чином, нерівності (8), (9) визначають максимальну амплітуду k гармоніки $\sin \omega t$ вхідного впливу, яка не призводить до розкачування у каналі через наявність демпфування.

На рис.1 наведена спектральна характеристика зовнішніх впливів, отримана із використанням швидкого перетворення Фур'є, на якій нанесено максимальне значення амплітуди вхідного сигналу. Амплітуди, які не перевищують максимальне значення k , не призводять до перевищення допустимого кутового відхилення у каналі керування через наявність демпфування і тому можуть не враховуватися у подальшому при побудові резонансної зони.

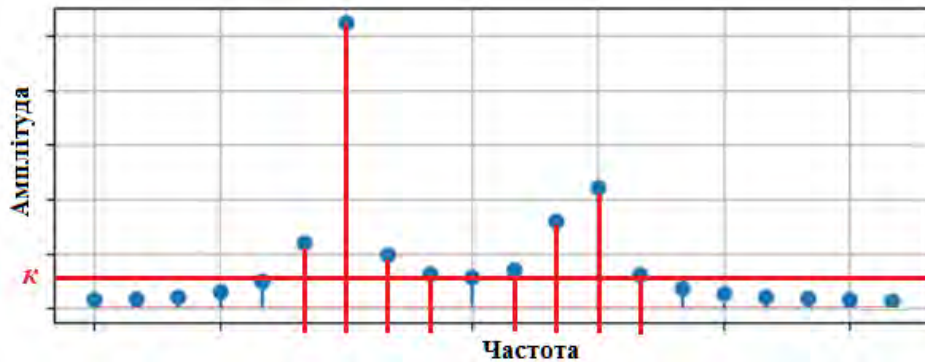


Рисунок 1 – Спектральна характеристика зовнішнього впливу

Висновки.

- розроблено метод автоматичного штормування судна, який полягає у розрахунку резонансної зони та формуванні керувань, що забезпечують рух судна у поза резонансних зонах, на відміну від існуючих рішень, використовує перетворення Фур'є для визначення спектру вхідних впливів, вибирає небезпечні складові спектру, які знаходяться у заданих межах відносно частоти власних коливань судна та амплітуди яких перевищують розраховане порогове значення, що дозволяє автоматизувати процеси штормування, зменшити вплив людського фактору та зменшити виснаження екіпажу;
- розроблено метод визначення порогового значення гармонік зовнішнього впливу, які не призводять до розкачування судна у каналі керування, за рахунок наявного демпфування, що дозволяє зменшити резонансну зону та підвищити можливості штормування;
- на основі методів розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення автоматичних модулів штормування у автоматизованих системах;
- працездатність та ефективність розроблених методів, алгоритмічного і програмного забезпечення перевірені на стенді імітаційного моделювання [21-23] та у середовищі MATLAB.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vadym Mateichuk, Serhii Zinchenko, Oleh Tovstokoryi, Pavlo Nosov, Yaroslav Nahrybelnyi, Ihor Popovych and Vitaliy Kobets. Automatic Vessel Control in Stormy Conditions // 2 nd International workshop on computational & Information Technologies for Control & Modeling (CITCM 2021), 5 November, 2021. Rivne, Ukraine.
2. Mateichuk V.M., Zinchenko S.M., Tovstokoryi O.M., Mamenko P.P., Artemenko A.G. TAKING INTO ACCOUNT THE SLAMMING DURING AUTOMATIC SAFE SAILING IN A STORM // Матеріали I міжнародної науково - практичної конференції "Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021), Херсон: ХДМА, 03-04 листопада 2021
3. Mateichuk V.M., Zinchenko S.M., Nosov P.S., Moiseienko V.S., Mamenko P.P. Automatic vessel steering in a storm // Materials of the I International scientific-practical conference "Actual problems of transport, energy, infrastructure safety". - Kherson: KhSMA, 8-11 September, 2021.
4. A. P. Ben, S. M. Zinchenko, P. S. Nosov, I. S. Popovych. Automatic Control of the Vessel Movement in a Storm // Materials of the III International Maritime Scientific Conference of the ship power plants and technical operation department of odessa national maritime university (MPP&O-2021), Odessa, April 29-30, 2021, p. 486-492. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36574.15681>
5. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г.. Расхождение с маневрирующими целями // Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 36-43, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/555/499>
6. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Расчет и реализация маневра расхождения с судами целями в бортовой ЦВМ // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017р., с. 230-235
7. Зинченко С.М., Матейчук В.М., Ляшенко В.Г. Використання інформаційних систем моделювання для розробки та тестування систем автоматичного керування рухом судна // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.27-29
8. Зинченко С.Н., Маменко П.П., Грошева О.А. Сокращение времени численного интегрирования математической модели судна в бортовом вычислителе // Науковий вісник ХДМА №1(18), с. 171-177, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/526/469>
9. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Синтез оптимального управления судном с граничными условиями // Науковий вісник ХДМА №1(18), с. 18-26, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>
10. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г. Использование нейросетевой модели судна для решения задач управления // Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 231-237, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/587/524>
11. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Оценка маневренных возможностей судна с помощью нейросетевой модели, синтезируемой в процессе его штатной эксплуатации // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017р., с. 236-240
12. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Оптимальное управление избыточными структурами азиподов // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.78-81
13. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий // Матеріали XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019), 28-30 травня 2019р., Херсон с. 177-178
14. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Избыточность по управлению как количественная мера маневренности судна // Матеріали

- XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019), 28-30 травня 2019 р., Херсон с. 97 – 99
15. Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O., Mateichuk V.M. Automatic control of the vessel's movement under external conditions // Науковий вісник ХДМА, №2(21), 2019. – с. 10-15. DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/480/416>
16. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Использование математической модели ЧЭ гирокомпаса для учета инерционной девиации // Матеріали VI МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 11-14 вересня 2019, с. 203 – 206
17. Moiseenko V.S., Zinchenko S.M., captain Tovstokoryi O.M. Automatic beam control of laser – optical position reference system // Materials of the II International Scientific and Practical Maritime Conference of the Department of Power Plants and TE of Odessa National Maritime University MPP & O-2020, April 2020, ODESSA-ISTANBUL-ODESSA. <https://drive.google.com/file/d/1HEX2RVuA1KV5JjMfQcqYZ1f4SCFMcy6a/view>
18. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Mateichuk V.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O. Automatic Collision Avoidance with many targets, including maneuvering ones // Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of professors Fomin Yu. Ya. And Semenov V. S., Odessa (Ukraine) – Istanbul (Turkey) – Odessa (Ukraine), 24-28 April 2019, pp. 343-349.
19. Zinchenko S., Tovstokoryi O. What is the Pivot Point and how to use it to control the vessel // Materials of the XII International Scientific and Practical Conference "Advanced Information and Innovative Technologies for Transport (MINTT - 2020), May 27-29, 2020, Kherson
20. Mamenko P.P., Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Solution of the Problem of optimizing route with using the risk criterion // Materials of the International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jelezny Port.
21. Mateichuk V., Zinchenko S., Nosov P. AUTOMATIC EVALUATION OF SKILL OF CONTROLLING SHIP IN NAVIGATION SIMULATOR // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", Kherson, September 9-12, 2020, p.149-152
22. S. M. Zinchenko, P. S.Nosov, V. M. Mateichuk, P. P. Mamenko, O. O. Grosheva. Use of navigation simulator for development and testing ship control systems // Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of professors Fomin Yu. Ya. And Semenov V. S., Odessa (Ukraine) – Istanbul (Turkey) – Odessa (Ukraine), 24-28 April 2019, pp. 350-355
23. Serhii Zinchenko, Vadym Mateichuk, Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Oleksandr Solovey, Pavlo Mamenko, Olga Grosheva. Use of Simulator Equipment for the Development and Testing of Vessel Control Systems / Electrical, Control and Communication Engineering. - 2020. - Vol.16. - №2. - P.58-64. DOI: 10.2478/ecce-2020-0009. <https://sciendo.com/pdf/10.2478/ecce-2020-0009>

THEORETICAL FUNDAMENTALS OF IMPROVING SAFETY NAVIGATION IN THE FIELD OF RISKS

P.P. Mamenko, S. M. Zinchenko*, K.V. Kyrychenko*, V.M. Mateychuk**

**Kherson State Maritime Academy (Ukraine)*

Introduction. Analysis of the development of the world economy indicates that along with the growth of trade, the share of maritime traffic is growing. Maritime transport provides about 90% of world trade, which leads to a constant intensification of human activity at sea. The number of maritime accidents has decreased over the last decade. However, as ships involved in maritime accidents continue to grow in size and speed up, one incident, such as an oil spill from a "super" tanker or the blocking of the Suez Canal when a "mega" container ship ran aground, could have catastrophic and long-term consequences marine ecosystems, the environment and local and global economies. Maritime accidents are complex and are caused by a combination of events or processes that can ultimately lead to the death of people and marine habitats, as well as irreversible environmental and economic damage [1-3].

The increase in the number of vessels and the intensity of their movement leads to accidents resulting from errors in the control of the movement of the vessel. Studies of maritime accidents such as collisions, crashes, groundings indicate direct or indirect human error as the root cause of such accidents, which raises many unanswered questions about the best way to prevent catastrophic human errors that have led to accidents.

One of the most promising areas that can dramatically reduce the impact of the human factor on the management of ship traffic and reduce the number of accidents and catastrophes at sea is the development and implementation of automated control systems with automatic modules [1-5].

Figure 1 shows a diagram of the ratio of gross domestic product (GDP) in international maritime trade and the ratio of maritime trade to GDP in 2006-2021 (percentage annual change and ratio).

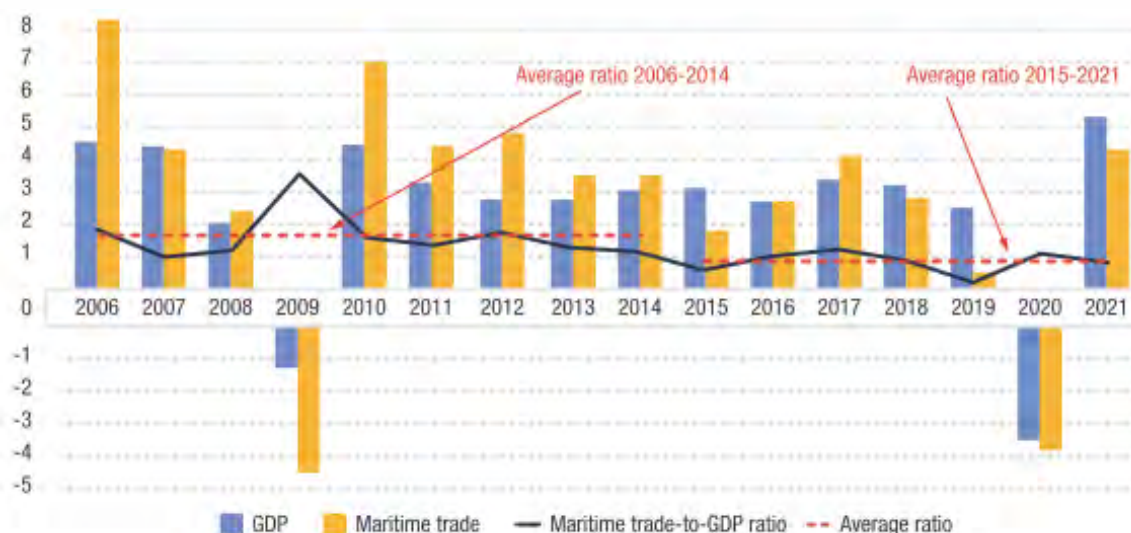


Figure 1 – GDP and Maritime Trade-to-GDP ratio 2006-2021

Relevance of research. Existing methods of optimal route planning and divergence are based on the hypothesis of absolute safety. However, ship collisions do occur and it becomes clear that the absolute safety hypothesis does not guarantee safe navigation. It is more rational to plan the route and divergence of vessels in the field of risk, which allows to take into account various uncertainties associated with errors in measuring parameters of own vessel and targets, proximity

of mathematical models, errors of numerical integration, uncertainty of target behavior, etc. Therefore, the development of methods for optimal route planning and differences in the field of risks is an urgent scientific and technical task [6-26].

Problem statement. It is necessary to develop a method, algorithmic and software for optimal route planning and differences in the field of risk for use in the onboard computer of the automated traffic control system.

Results of the research. The field of risks is a set of total risks from navigation hazards $C_H(\mathbf{x})$, own risk $C_o(\mathbf{x})$, risks of other vessels - target $C_i(\mathbf{x})$ participating in the operation.

$$C(\mathbf{x}) = C_o(\mathbf{x}) + C_H(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^n C_i(\mathbf{x})$$

The summary risks depend on the uncertainty of the characteristics of the vessel and its objectives, the presence of instrumental errors in measuring the parameters of the mutual movement of the vessel and targets, the uncertainty of the behavior of targets, the cost of the vessel and cargo. The total risk has a normal loss distribution probability law and can be represented as

$$C_i(\mathbf{x}) = \frac{C_m}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2-2r_{xy}} \left[\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{r_{xy}(x-x_0)(y-y_0)}{\sigma_x^2\sigma_y^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} \right]}, i=0..n, \quad (1)$$

The summary standard errors of uncorrelated uncertainties are found by formulas

$$\begin{cases} \sigma_x = \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2 + \dots + \sigma_{xn}^2} \\ \sigma_y = \sqrt{\sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2 + \dots + \sigma_{yn}^2} \end{cases},$$

The summary root mean square errors of the correlated uncertainties are found by the formulas

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \dots + \sigma_{xn} \\ \sigma_y = \sigma_{y1} + \sigma_{y2} + \dots + \sigma_{yn} \end{cases}$$

For a given risk C^* , we obtain from expression (1)

$$\frac{2\pi\sigma_x\sigma_y C^*}{C_m} = e^{-\frac{1}{2-2r_{xy}} \left[\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{r_{xy}(x-x_0)(y-y_0)}{\sigma_x^2\sigma_y^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} \right]} \quad (2)$$

After logarithmization, expression (2) will take the form

$$-\frac{1}{2-2r_{xy}} \left[\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{r_{xy}(x-x_0)(y-y_0)}{\sigma_x^2\sigma_y^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} \right] = \frac{2\pi\sigma_x\sigma_y C^*}{C_m},$$

or

$$\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{r_{xy}(x-x_0)(y-y_0)}{\sigma_x^2\sigma_y^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} = \frac{-4(1-r_{xy})\pi\sigma_x\sigma_y C^*}{C_m},$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{(x-x_0)^2}{(\sigma_x R)^2} - \frac{r_{xy}(x-x_0)(y-y_0)}{(\sigma_x\sigma_y R)^2} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y R)^2} = 1 \\ R^2 = \frac{-4(1-r_{xy})\pi\sigma_x\sigma_y C^*}{C_m} \end{array} \right. \quad (3)$$

The first equation of the system (3) is an ellipse shifted relative to the beginning of the basic (geographical) coordinate system by the value of x_0, y_0 and rotated by some angle (Fig. 2). The angle of rotation of the ellipse is related to the correlation coefficient r_{xy} . The total root mean square errors σ_x, σ_y and the reduced radius R , which is proportional to the given risk C^* , determine the half-axis of the ellipse. Thus, it can be seen from the system (3) that the greater the given risk C^* , the smaller the half-axes of the ellipse. In fig. 2 shows ellipses of equal risks around your own ship and targets.

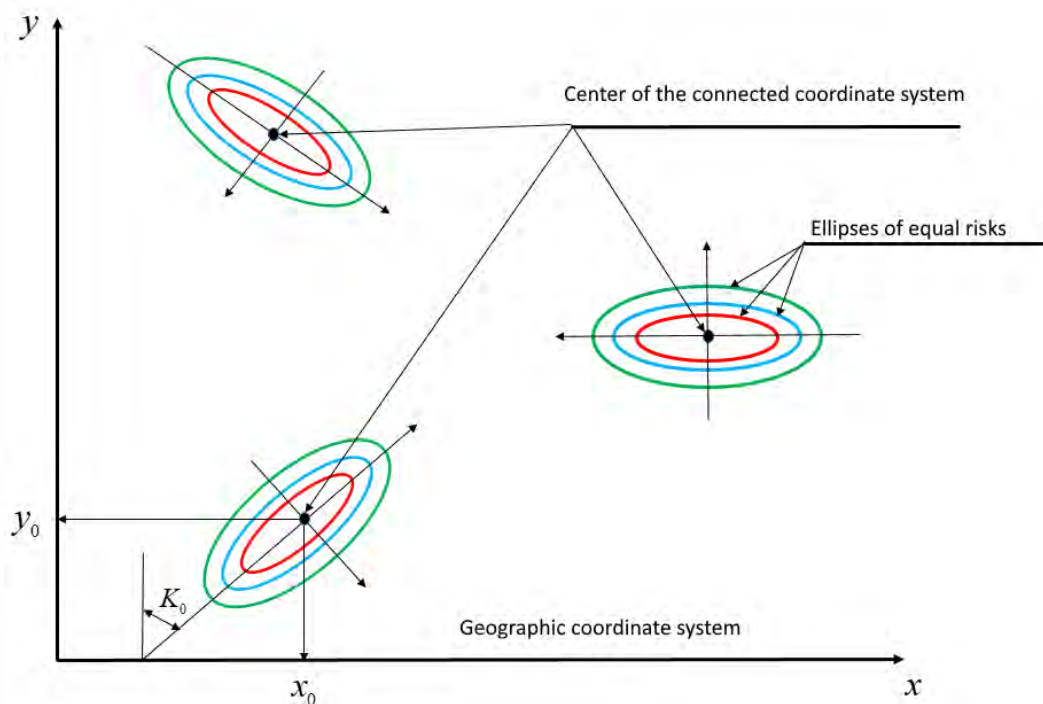


Figure 2 - Ellipses of equal risks of your own ship and targets

In fig. 3 shows the function of instantaneous risk and level line. The smoothness of this function allows the use of gradient procedures in the construction of controls.

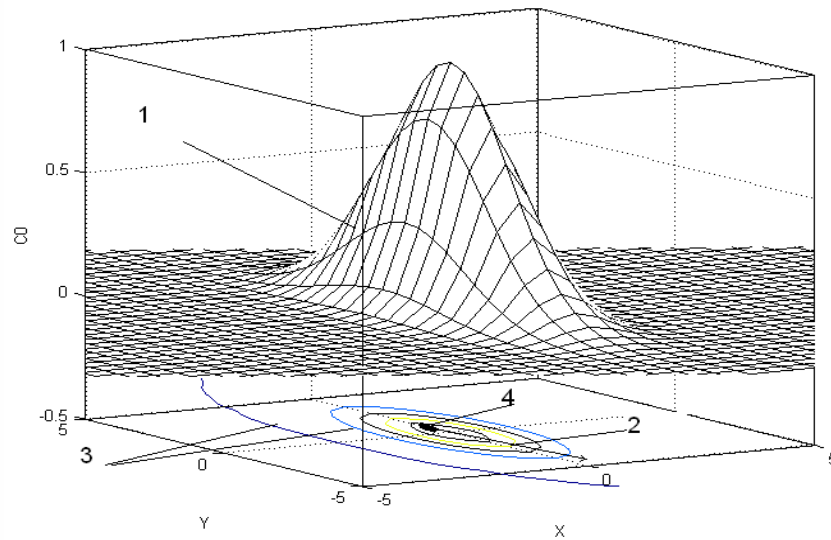


Figure 3 - Instantaneous risk function and level line

Figure 4 shows the field of risks of your own vessel and targets. Representing the scene as a field of risk allows you to create a user-friendly interface where the positions and trajectories of targets, as well as their size and the danger they pose, are easily perceived.

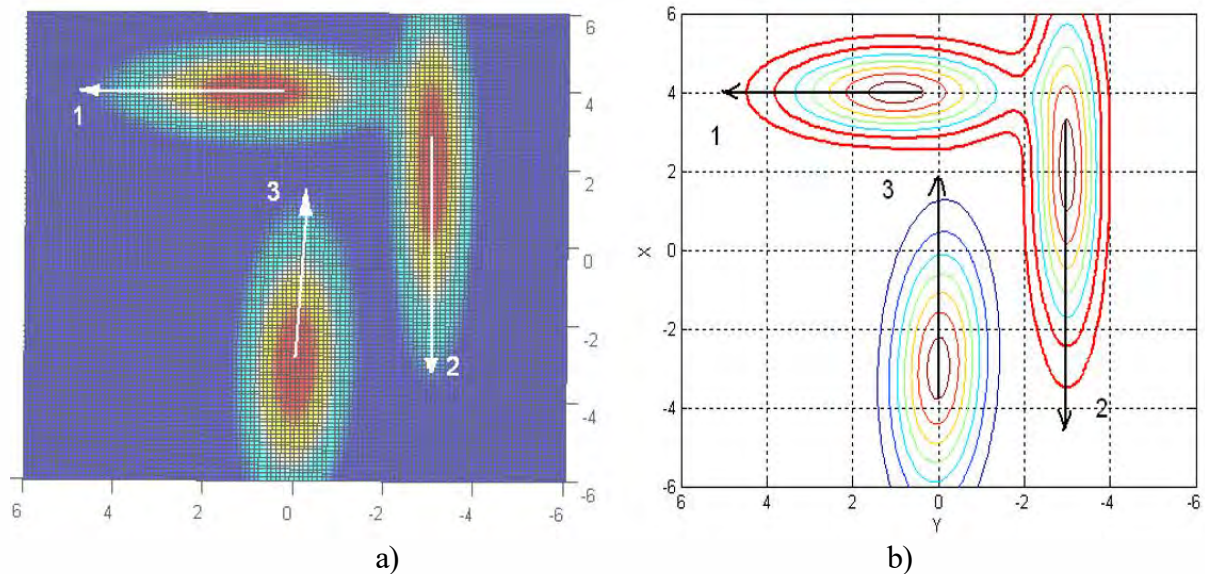


Figure 4 - Risk field and level lines

Conclusion. The results of the study suggest that the method of solving the problem of ship divergence using the risk field provides:

- optimality of trajectories of movement at not exceeding the set risk and minimum of a way of maneuver;
- clarity of visualization of the navigation situation, simplicity of the calculation algorithm;
- a new principle of improving the safety of navigation was considered, which takes into account the interests of all participants in the operation at the stages of route planning, movement of the vessel along the route and during divergence, which reduces collision risks and increases safety;

- developed a method of constructing the risk field of own vessel and target vessels, which is to use as a ship's domain the total risk distribution around own vessel and target vessels, taking into account measurement, calculation errors and other uncertain factors to reduce collision risks and increase maritime safety;
- developed a method of constructing a total risk field, which consists in imposing risk fields of own vessel, target vessels, risk fields of other navigational hazards, which allows to obtain analytical expression of risk field, risk field level lines for visualization and further numerical processing in the onboard computer vessel traffic control.

REFERENCES

1. REVIEW OF MARITIME TRANSPORT 2021: United Nations Publications, 405 East 42nd Street, New York, 10017 United States of America; Email: publications@un.org; Website: <https://shop.un.org/>.
2. Luo M. Half-century research developments in maritime accidents: Future directions / M. Luo, S. Shin // *Accident Analysis & Prevention*. – 2019. - Vol. 123. - P. 448-460. DOI: 10.1016/j.aap.2016.04.010.
3. Acejo I., Sampson H., Turgo N., Ellis N., Tang L (2018) The causes of maritime accidents in the period 2002–2016, Seafarers International Research Centre (SIRC), Cardiff University, United Kingdom. Available from http://orca.cf.ac.uk/117481/1/Sampson_2002-2016.pdf
4. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Mateichuk V.M., Moiseienko V.S. Modeling the behavior of navigator to improve safety of maritime transport operation. Proceedings of the I International scientific-practical conference «Current transport safety issues, in energy, infrastructure (STEI-2021)», 2021, pp. 94-100.
5. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 77, 2021, pp. 266-281, Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82014-5_18
6. Mamenko P.P., Zinchenko S.M., Tovstokoryi O.M., Mateichuk V.M., Kyrchenko K.V., Moiseenko V.S. Solution of the problem of optimizing route with using the risk criterion. Materials of the I international scientific and practical conference «Problems of sustainable development of the marine industry (PSDMI-2021)», 2021, pp. 190-193.
7. Lisowski J., The dynamic game theory methods applied to ship control with minimum risk of collision (Chapter). *Risk Analysis V - Simulation and Hazard Mitigation*, ed. C.A. Brebbia, WIT Press: Southampton - Boston, pp. 293-302, 2006.
8. Lisowski, J., Application of dynamic game and neural network in safe ship control. *Polish Journal of Environmental Studies*. 16, pp. 114-120, 2007.
9. Wilson P., Harris C., Hong X. A Line Of Sign Counteraction Navigation Algorithm For Ship Encounter Collision Avoidance. *Journal of Navigation*. – 2003. - № 56(1). - P. 111-121. doi: 10.1017/S0373463302002163.
10. Lisowski, J., Optimal and game ship control algorithms avoiding collisions at sea (Chapter). *Risk Analysis VI - Computer Simulation Risk Analysis and Hazard Mitigation*, ed. C.A. Brebbia, WIT Press: Southampton - Boston, pp. 1-10, 2008.
11. Zinchenko S.M., Lyashenko V.G. Divergence with maneuvering targets. *Scientific Bulletin of KHSMU №2 (17)*, p. 36-43, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/555/499> (16).
12. Zinchenko S.M., Lyashenko V.G., Shalaeva A.A. Calculation and implementation of the divergence maneuver with ships as targets in the on-board CVM. Materials of the IV MNPC "life safety in transport and production education, science, practice", Kherson, September 14-16, 2017, pp. 230-235 (17).

13. Zinchenko S.M., Mateychuk V.M., Lyashenko V.G. Use of information modeling systems for the development and testing of automatic ship movement control systems. Materials of V MNPC "life safety in transport and production: education, science, practice", Kherson, September 13-15, 2018, pp. 27-29 (16).
14. Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O. Shortening the time of numerous integration of a mathematical model of a vessel in a flatbed calculator. Scientific Bulletin of KHSMU No. 1(18), pp. 171-177, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/526/469> (16).
15. Zinchenko S.M., Nosov P.S, Grosheva O.O., Mamenko P.P., Mateychuk V.M. Ship Management in the conditions of external impacts. Materials of XI MNPC "Modern information and innovative technologies in transport (MINTT – 2019), May 28-30, 2019, Kherson pp. 177-178 (15).
16. Zinchenko S.N., Nosov P.S., Mamenko P.P., Grosheva O.O., Mateychuk V.M. Excess management as a quantitative measure of ship maneuverability. Materials of XI MNPC "Modern information and innovative technologies on transport (MINTT – 2019)", 28-30 May 2019, Kherson pp. 97-99 (14).
17. Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O., Mateichuk V.M. Automatic control of the vessel's movement under external conditions. Scientific Bulletin of KHSMU, №2(21), 2019. pp.10-15.,DOI:10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/480/416> (21).
18. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Mamenko P.P., Grosheva O.O., Mateychuk V.M. Using the mathematical model of CE gyrocompass for accounting for inertia deviation. Materials of the VI MNPC "life safety in transport and production: education, science, practice", Kherson, September 11-14, 2019, P. 203 – 206 (12)
19. Kyrychenko K.V., Zinchenko S.M., Nosov P.S.. Minimizing damage in the event of imminent collision. Materials of the I International scientific-practical conference "Actual problems of transport, energy, infrastructure safety". - Kherson: KhSMA, 8-11 September, 2021 (3).
20. Mamenko P.P., Zinchenko S.N., Kobets V.M, Nosov P.S, Popovych I.S. Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2021, vol 77. P. 252-265, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17.
21. Mamenko P.P., Zinchenko S.N., Nosov P.S., Kyrychenko K.V., Popovych I.S., Nahrybelnyi Yar.A. and Kobets V.M. Research of Divergence Trajectory with a Given Risk of Ships Collisions. 2 nd International workshop on computational & Information Technologies for Control & Modeling (CITCM 2021), Rivne, 5 November, 2021.
22. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Mamenko P.P., Moiseenko V.S., Mateichuk V.M., Kyrychenko K.V., Polishchuk V.O. Use of zero movements for adjustment of redundancy structures. Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021): Матеріали 1 міжнародної науково - практичної конференції, Херсон, 03-04 листопада 2021р.
23. Zinchenko S.M., Nosov P.S, Mateichuk V.M, Mamenko P.P, Grosheva O.O. Automatic collision avoidance with many targets, including maneuvering ones / S. M. Zinchenko, P. S. Nosov, V. M. Mateichuk, P. P. Mamenko, O. O. Grosheva // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2019. - Vol. 4. - P. 211 – 222. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-4-20
24. Zinchenko S.M., Nosov P.S, Mateichuk V.M, Mamenko P.P, Grosheva O.O. Automatic collision avoidance with many targets, including maneuvering ones. The International scientific and practical conference dedicated to the memory of professor Fomin Y.Y. and Semenov V. S. (FS - 2019), Odessa - Istanbul - Odessa, 24 – 28 April, 2019, proceedings. – ONMU, 2019. - P. 343-349.
25. Cherniavskiy V.V., Zinchenko S.M., Nosov P.S.. The use of excessive actuator structures in automatic vessel movement control systems. Materials of the III International Maritime Scientific Conference of the ship power plants and technical operation department of odessa

national maritime university (MPP&O-2021), Odessa, April 29-30, 2021, p. 466-472.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36574.15681> (5).

26. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S.. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability. Scientific Bulletin of the KhSMA, 2021. № 3(21). С. 23-35. (5)

UDC 004.942

**MODELING OF CONTROL ACTIONS IN THE PROCESSES
OF RESTORATION OF QUALIFICATION PARAMETERS
OF MARITIME TRANSPORT SPECIALISTS**

Ponomaryova V.P., Ben A.P., Diahyleva O.S., Nosov P.S.

Kherson State Maritime Academy

Introduction. The development and trends in the transformation of organizational and technical systems of maritime transport directly depend on the preservation of specialist subjects qualification parameters [1-5]. Dynamic processes affect the integrity of the maritime transport specialists qualifications, which negatively affects the level of their performance of their functional duties [6-8]. The amount of loss from the human factor can be fatal and irreversible [9-12]. This implies, on the part of scientific world, the development of control systems that allow identifying the state of qualification parameters, both as a private subject of the system, and in field of maritime transport as a whole [13-15].

There is a need to identify and restore the qualification parameters of specialists, predict risks and prevent catastrophic consequences [16-18]. For this, one of important components of solving the problem posed is formal definition of control recovery signal to maintain a sufficient level of qualification parameters for maritime transport specialists.

Main research material. To solve the indicated problem, it should also be taken into account that in addition to determining the individual settings for the supply of a control signal in time, it is necessary to take into account the amount of information sufficient both to restore the level of qualification parameters (QP) and not exceeding the ability of a specialist to fully perceive it P .

In this case, it is necessary to observe the accuracy of information signal normalization in time $x(t^*)$ using a correction factor τ depending on the complexity of perceived information (individual indicator).

In this form τ , it allows to normalize the flow of information, providing sufficient bandwidth of perceived control signal, which is described by the condition: $F[R_x(0), R_x(\tau)] \geq P$, at $(R_x(\tau)/R_x(0)) \geq P$, $(0 < P < 1)$.

Due to heterogeneity of information signal between indicators $R_x(0)$ and $R_x(\tau)$, peculiarities of individual perception of information by a specialist, the occurrence of uncertainty, parameter τ will change cyclically, which does not allow the formation of a long-term plan of control actions [19]. In this case, it is necessary, in each the predetermined discrete cycles, to take into account the mean square error of signal adjustment L_τ , both in total time t and in τ , of form:

$$L_\tau = \sqrt{M[x(t^* + \tau) - x(t^*)]^2}, \text{ then } R_x(0) = M[x^2(t^* + \tau)], \text{ a } R_x(\tau) = M[x(t^*)x(t^* + \tau)]$$

From the above, it follows that in order to increase the effectiveness of QP recovery, it is necessary to generate a control signal according to criterion of individual information susceptibility [20]. This approach involves the introduction of signal quantization process δ_s according to the criterion of conscious perception volume of information R within (a_i) , by a maritime transport specialist, [21,22] such that:

$$R = \frac{S}{\tau} \log_2 \left(\frac{2a}{\delta_s} + (R_x(\tau)/R_x(0)) \right).$$

Then, the level higher of signal quantization, the indicator higher of volume of information conscious perception by a maritime transport specialist.

Given that the recovery signal QP is X_i directed to impact of parameters $s_1 \dots s_4 \dots s_i$, then there are individually oriented limits on volume of such impact A'_i and A''_i , at $X_{ires} - A'_i < X_i < X_{ires} + A''_i$.

Based on indicated parameters, we will simulate the volumes of nformation perception i to restore QP for each S_i (s_1 is the level of educational qualification; s_2 is the current set of valid certificates, courses; s_3 is the level of practical qualification (position); s_4 - long-term sea experience).

The main components that allow approximating the studied processes in the form of surface graphs will be: correction factor τ ; recovery time of a specialist's qualification t^* ; the intensity of control action γ .

For example, for s_1 , with an increase in γ (0.3; 0.5; 0.7), the effectiveness of information perception increases significantly without additional correction, which indicates the age and sensitive characteristics of this specialists category (applicants for higher education) (Fig. 1).

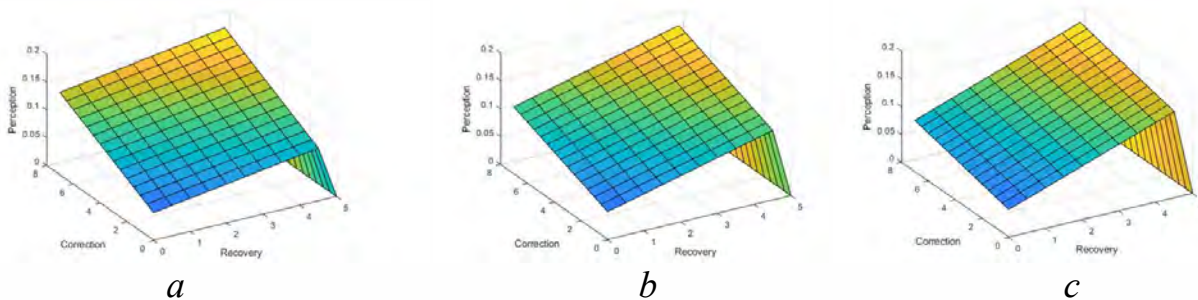


Fig. 1. Graphs-surfaces of information perception processes by maritime transport specialists s_1 : $a - \gamma = 0,3$; $b - \gamma = 0,5$; $c - \gamma = 0,7$

The data obtained indicate that the process is stable and does not require high intensity. The graphs (Fig. 1 a, b, c) show that it is possible to achieve the maximum effectiveness of qualification restoration for s_1 without significant indicators γ , varying only by the submission of information and additional correction in time.

In turn, for the group of specialists s_2 , when comparing the level of qualification the primary and "refreshing" for each of qualification courses, there is a

tendency to lose the effectiveness the perception volume of information for restoring qualifications in the second cycle (Fig. 2).

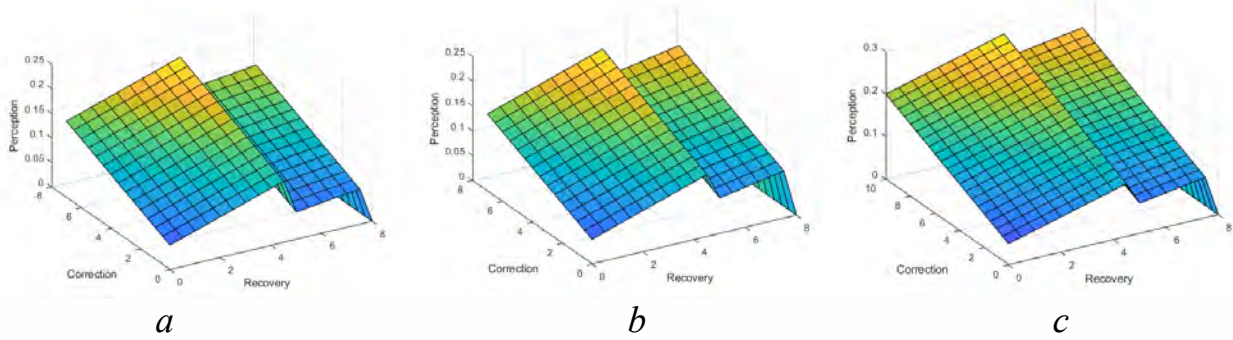


Fig. 2 Graphs-surfaces of information perception processes by maritime transport specialists s_2 : $a - \gamma = 0,3$; $b - \gamma = 0,5$; $c - \gamma = 0,7$

In the case for s_2 , increasing the amount of perceived information by specialists, it is necessary to increase γ , so in the case of $\gamma = 0,7$, it is possible to get almost the same high result with “refreshing” as with “basic”. Thus, taking into account the track record of a specialist, it is possible to determine the control action for each individual with the maximization of the result. At the same time, an effect is observed when an excessive increase in volume of information-signal of control action can cause a sharp decrease in the efficiency of qualification restoration. It can also be caused T_{lose} when the optimal time for effective impacts is lost to restore the qualifications of specialists [23,24].

When moving to a new position, when the set of course certificates changes and it is necessary to ensure a qualitative transition to a new level of marine specialist qualification, it is necessary to significantly increase the intensity of control actions γ in addition, to balance the corrective function $K_s(q)$.

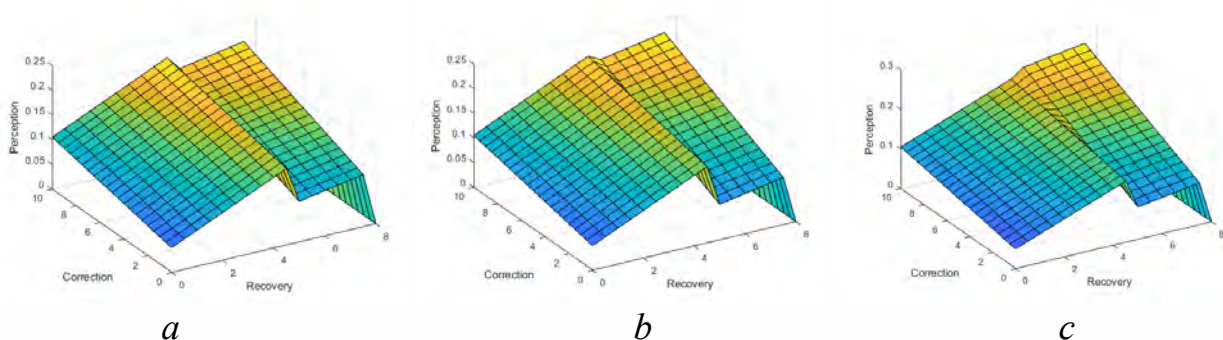


Fig. 2 Graphs-surfaces of information perception processes by maritime transport specialists s_3 : $a - \gamma = 0,3$; $b - \gamma = 0,5$; $c - \gamma = 0,7$, when balancing $K_s(q)$

The data obtained for s_4 show that, at a certain age, maritime transport specialists lose the ability to progress when their qualifications are restored and are

based on previously acquired qualification levels. This fact indicates the risk of working in leadership positions for a long time.

And there is also the effect of a sharp decrease in efficiency with increasing load. Under the conditions of long-term modeling for s_4 , there is a decay in the effectiveness of information perception even in the conditions of introducing corrective actions into the process (Fig. 4).

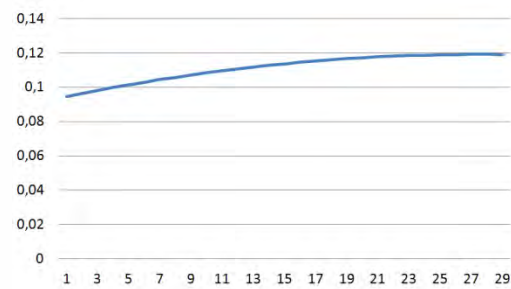


Fig. 4. Efficiency of recovery of qualification for s_4

There is also an increased risk of control by these specialists over specialists who have an updated level of qualification for their position.

Conclusion. The obtained formal and analytical data indicate that the problem area of research under consideration requires in-depth study and application of innovative approaches in the framework of automating the management of processes and complex multi-parameter objects of organizational and technical systems of maritime transport.

From the formal description and subsequent modeling, it became clear that the main factor for managing the processes of forming identification and restoring the qualification parameters of maritime transport specialists are terminal ones. The management of such parameters in a time context involves the use of not only linear models, but also fuzzy systems that can identify the state of processes and fine-tune the control system to reduce risk factors due to the human factor in water transport.

References:

1. Nosov, P.S., Cherniavskiy, V.V., Zinchenko, S.M., Popovych, I.S., Nahrybelnyi, Y.A., & Nosova, H.V. (2021). Identification of marine emergency response of electronic navigation operator. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), 208–223. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-20>
2. Nosov P., Cherniavskiy V., Zinchenko S., Popovych I., Prokopchuk Y., Safonov M. Identification of distortion of the navigator's time in model experiment // *Bulletin of University of Karaganda. Instrument and experimental techniques*, 2020. - № 4(100). P. 57-70. <https://doi.org/10.31489/2020Ph4/57-70>
3. Plokhikh, V., Popovych, I., Zavatska, N., Losiyevska, O., Zinchenko, S., Nosov, P., & Aleksieieva, M. (2021). Time Synthesis in Organization of Sensorimotor Action. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 12(4), 164-188. <https://doi.org/10.18662/brain/12.4/243>
4. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Ben A.P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O.M. Models of decision making by a navigator with implicit agreement of the COLREG rules // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія*, 2019. – № 1 (20). – С. 31-38

5. Popovych Ihor, Blynova Olena, Nosov Pavlo, Zinchenko Serhii, Kononenko Oksana. Psychological factors of competitiveness of women's youth handball team. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(1), 227 - 235. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.01030>

6. Ponomaryova V.P., Ben A.P., Dyagileva O.S., Nosov P.S. Approches to the automation of maritime educational processes plannings system // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТО 2021). С. 277-279.

7. Ponomaryova V.P., Nosov P.S., Dyagileva O.S. Personnel qualification management approaches in marine organizational and technical systems // Матеріали 1 міжнародної науково - практичної конференції "Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021), Херсон: ХДМА, 03-04 листопада 2021. С. 154-157.

8. Пономарьова В.П. Дягилева О.С., Носов П.С., Ідентифікація кваліфікаційних параметрів суб'єктів організаційно-технічних систем морської транспорту // Збірник тез за матеріалами ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Філософські обрії сьогодення»/ за ред. І.Варнавської. Херсон: ХДАЕУ, 2021. С. 78-79.

9. Mamenko P., Zinchenko S., Kobets V., Nosov P., Popovych I. (2022) Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17.

10. Zinchenko Serhii, Mateichuk Vadym, Nosov Pavlo, Popovych Ihor, Solovey Oleksandr, Mamenko Pavlo and Grosheva Olga. "Use of Simulator Equipment for the Development and Testing of Vessel Control Systems" *Electrical, Control and Communication Engineering*, vol.16, no.2, 2020, pp.58-64. <https://doi.org/10.2478/ecce-2020-0009>

11. Zinchenko S.M., Mateichuk V.M., Nosov P.S., Popovych I.S., Appazov E.S. Improving the accuracy of automatic control with mathematical meter model in on-board controller // *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2020. - № 4. – P. 197-207. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-4-19>

12. Zinchenko S., Ben A., Nosov P., Popovych I., Mateichuk V., Hrosheva O. The vessel movement optimisation with excessive control // *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*, 2020. - № 3(99). P. 86-96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>.

13. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий. *Materials of the XI "Modern information technologies in transport, MINTT-2019"* May 28-30, 2019 Kherson, Ukraine. С 177-178.

14. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Избыточность по управлению как количественная мера маневренности судна. *Materials of the XI "Modern information technologies in transport, MINTT-2019"* May 28-30, 2019 Kherson, Ukraine. С 97-99.

15. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Y. (2022) Automatic Optimal Control of a Vessel with Redundant Structure of Executive Devices. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_18.
16. Longino, John. (2020). Navigating the Ship of Theseus from typology to cartography. *Megataxa*. 1. 43-45. <https://doi.org/10.11646/megataxa.1.1.8>.
17. Lisaj, Andrzej. (2019). Implementation of e-Navigation Strategies for RIS Centres Supporting Inland Navigation. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 13. 145-149. <https://doi.org/10.12716/1001.13.01.14>.
18. Rudolf, DI & Triyanti, Vivi. (2020). Designing a Device for Measuring Human Reaction Time. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 847. 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012051>.
19. Wróbel, Krzysztof & Gil, Mateusz & Chae, Chong. (2021). On the Influence of Human Factors on Safety of Remotely-Controlled Merchant Vessels. *Applied Sciences*. 11. <https://doi.org/10.3390/app11031145>.
20. Sun, Qingquan & Ma, Rui & Hao, Qi & Hu, Fei. (2013). Space encoding based human activity modeling and situation perception. 183-186. <https://doi.org/10.1109/CogSIMA.2013.6523845>.
21. Sheroziya, G. & Sheroziya, Maxim. (2020). CALCULATING THE AMOUNT OF INFORMATION CONTAINED IN A CONTINUOUS SIGNAL. *Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University*. 73. 59-70. <https://doi.org/10.21667/1995-4565-2020-73-59-70>.
22. Ereshko, Felix & Gorelov, Mikhail. (2021). Hierarchical games with restrictions on the amount of information transmitted. 1-5. <https://doi.org/10.1109/MLSD52249.2021.9600193>.
23. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov, P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2 (107), 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856>
24. Liu, Yan. (2020). Survey of Intelligent Recommendation of Academic Information in University Libraries Based on Situational Perception Method. *Journal of Education and Learning*. 9. 197. [10.5539/jel.v9n2p197](https://doi.org/10.5539/jel.v9n2p197).

UDC 004.942

FORMAL APPROACHES FOR IDENTIFICATION STATE-SPACE NAVIGATOR'S MODELS ON GRAPHS

Masonkova M., Diahyleva O.S., Ben A.P., Nosov P.S.

Kherson State Maritime Academy

Introduction.

When operating with approaches for identification the navigator's model as a subject of the organizational and technical system of maritime transport, it is necessary to take into account its multifactorial nature and dynamic structure [1-5]. The complexity of the formal representation of such models in maritime sphere causes certain difficulties in determining its boundaries and manageability [6-9]. In turn, there are approaches capable in some aspect of forming a model of a navigator, taking into account the vector of its dynamics and transformation within the framework of made decisions. In this case, modeling can be effective in terms of flow theory [10-12], which will allow us to consider modeling within the feature space of the navigator's model states on graphs.

Main material of research.

Let's consider a situation describing the probable state space of the navigator's model, as well as dynamic processes during decision making. For greater visualization, as well as for sufficient and objective formal description of the situation, we denote the space as a directed graph $G=(V,E)$. At the same time, within the framework of the next circle of strategic planning, let's describe the transition between the peaks $s \rightarrow t, s, t \in V$, under conditions of restrictions $C: E \rightarrow \mathbb{R}$, characterizing the possibility and potential of the navigator as maritime transport specialist [13-15].

Then the task is to determine what potential must be applied to move from state s to t , for this we define some fiction $f: E \rightarrow \mathbb{R}_+$.

In this case, the condition is that the requirements for the specialist f , by definition, cannot exceed the potential C , then we have: $\forall e f(e) \leq C(e)$, where the best condition is equality $f(e)$ and $C(e)$.

It is also true that in intermediate vertices v_i for edges u_i there will be:

$$\sum_{(u,v) \in E} f(u,v) = \sum_{(v,w) \in E} f(v,w), \quad \forall v \in V - \{s, t\} \quad (1)$$

The difficulty is to formally define the potential C and thus determine those vertices of the directed graph at which the possibility of a transition appears, excluding the input values at the vertices:

$$\sum_{(s,u) \in E} f(s,u) - \sum_{(l,s) \in E} f(l,s), \quad |f| \rightarrow \max \quad (2)$$

Then the process of combinatorial optimization is formed taking into account the analysis of maximizing the increment between the vertices s and t . Approaching the solution of this problem, the primary method may be linear programming [16].

The indicated conditions allow the transition in the graph to be carried out, the task is not difficult and computable, however, it significantly weakens the level of the specialist because reduces requirements. Thus, there is a monotonous decrease in the effectiveness and competitiveness parameter of a maritime professional.

All this indicates the need to transform the graph by adding two or more long intermediate elements. These elements will allow separating transition flows by defining additional conditions that form increments $f(e)$ on the graph edges. In addition, an important resulting condition will be the integrity of the flow-transition according to the principle of its maximization. In this interpretation, when $f \cdot E \rightarrow \square$, linear programming approaches are difficult to be applied and this requires the use of matchings in graphs. In this case, it is necessary to set the vertex capacities themselves as integers, using fuzzy systems for the linguistic scale, followed by normalization of the values in the accepted ranges of values.

In turn, the considered particular, localized case of visualization of the space of transition states of the navigator's model is only a fragment. When considering the broader spectrum of the observable state space, it is important to consider subgraphs in terms of their density, such that: $\alpha(G) = |E|/|V|$.

Based on this, the hypothesis of the research is that the optimal state of the navigator's model can be found in a fragment-subgraph that has the maximum density of vertices relative to other fragments. Such a subgraph will have the properties of multivariate or combinatorics, which indicates the advantage of the vertex-states included in it due to a possible significant optimization effect $\alpha(H) \rightarrow \max$. Such a subgraph is generally induced, since it connects the maximum possible number of fragment vertices $G[X]$, $X \subseteq V$. In addition, in fragments of a graph of low density, there can be observed recursion in the opposite direction e^{-1} . This is due to the fact that in the absence of transition variations that satisfy the conditions, there are possible degradation of navigator's level, the transition to less advantageous and competitive positions (states) of the form:

$$f E \rightarrow \square, \forall e f(e) = -f(e^{-1}).$$

Based on this, at each moment of time, taking into account the throughput at the vertices-states of the graph, the overall efficiency of the flow to the target vertices will differ. The dynamics of such a process may depend on many external and internal factors, where under the external factors we will consider the policy of companies, international and domestic maritime organizations, and the internal ones are the motivation, potential and psychological stability of the subject - the navigator.

Thus, at each discrete moment of time, the state graph can be estimated on the basis of the residual network $C_f(e)$, under conditions of maximization flow:

$$f_0 = 0 \rightarrow f_1 \rightarrow \dots \rightarrow f_k : |f_k| \rightarrow \max.$$

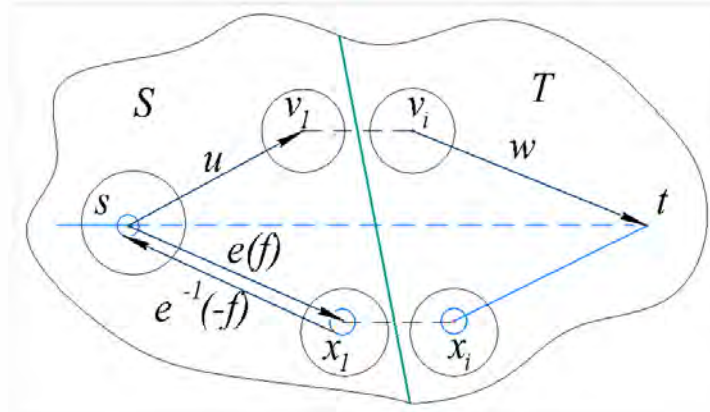
From this it follows that formally the navigator's model can be interpreted as a certain flow f_k on the graph, and the problem of maximizing its parameters by

adding the transformation parameter of the model g , such that: $\forall e f(e) \pm g(e) \leq C(e)$, $g(e) = -g(e^{-1})$ when $f' = f + g$.

In this context, it is convenient to represent the formal model of the navigator in the form of his potential as a complex indicator of the flow on the edges of the graph. This introduces restrictions in the conditions of the current flow as a constant and implies a transformation in the form of its redistribution:

$$\sum_{(u,v)} \{f(u,v) + g(u,v)\} = 0.$$

In this approach, the problem is reduced to the optimal distribution of resources-flows and can be solved by one of the classical research methods of operations: the branch and bound algorithm; network planning methods; traveling salesman problem and many others [17,18]. However, in our case, it is necessary to introduce such $g(u,v)$ as a flow such that $g > 0$, due to which it will be possible to qualitatively transform the navigator model $|f'| = |f| + |g|$, reaching a given vertex t in the range of required parameters and optimally.



Pic. 1. Graph-model of the navigator

To this purpose, we use the Ford-Fulkerson algorithm to find the maximum flow-potential and, as a result, the best navigator's model in the current state space on the graph [19-21]. Within the framework of the algorithm, it is important to note the condition that restricts transitions by value ε in the residual network of the algorithm, which determine the complex decision-making strategy of the navigator, such that $\varepsilon \leq \min_{e \in P} C_f(e)$, $C_f(e) > 0$. In this case, it is important to find such a residual network that contains edges with positive capacity in the form of requirements for the specialist in terms of the flow F . On each edge ε determines the general level of the navigator, so the minimum values of ε on the edge of the graph can lead to loss of flow and degradation of the navigator model as a whole. Then F can be estimated in terms of the size of the graph and the maximum throughput, $F \leq C_{\max} \cdot V$.

In this case, due to the reachability and, as a consequence, finding the optimal (maximum) flow in accordance with the algorithm, we divide the graph into two non-intersecting sets, dividing the graph vertices into conditionally equal parts.

Connections of transitions between the vertices of both sets determine the general direction from left to right: $c(S, T) = \sum_{\substack{u \in S \\ v \in T}} c(u, v)$, $|f| \leq c(S, T)$ при $V = S \cup T$.

Depending on the purpose of the transformation of the navigator's model, the boundary of the sets S and T can shift from left to right within V . An analysis of the number of border crossings will provide an opportunity to determine the magnitude of the flow at this stage of strategic decision making in several directions of crossings: $|f| \leq \sum_{\substack{u \in S \\ v \in T}} c(u, v) = c(S, T)$.

Thus, the achievement of the optimal decision-making strategy by the navigator will be optimal only if $|f| = c(S, T)$.

Let's define optimization in two stages. The first stage is achieved when in the entire graph there are no reverse direction edges of the form $t \rightarrow s$, which means that the entire flow is unidirectional and eliminates the loss of the navigator's potential. In addition, optimization can be achieved when there is no such boundary between the sets S and T for which $\forall_{u \in S, v \in T} c_f(u, v) = 0$.

The second stage of optimization is determined by analyzing all the vertices of the set S for their positive throughput. If $\exists u \in S, c(u, v) > 0$, then it can be argued that the flow is to some extent positive, since a global transition from S to T is achieved. Then it is important to determine the maximization function of this flow by defining the conditions when $|f| = \max$, what is possible if $\forall_{u \in S, v \in T} f(u, v) = c(u, v)$.

However, in practice, it is objectively difficult to achieve such a result in the global interpretation of the problem, since there will always be vertices-states in which the requirements will have zero throughput. Also, taking into account the complex dynamically changing construction of the sets S and T , it is possible to operate only with its visible fragment at the predicted moment Δt .

Conclusion. Generalizing the first and second stages of optimization, according to the Ford-Fulkerson algorithm, we get that: $\max_{(S, T)} c(S, T) = \min_f |f|$, $\min_f |f| > 0$. It means that in order to find the optimal

navigator's model, it is necessary to maximize the transitions through the sets S and T , provided that the positive flow is minimal. It confirms the hypothesis that it is necessary to define a fragment of the global set with the maximum possible number of vertices of positive capacity. Thus, further research will be aimed at determining strategies for the development of transitions on the state graph of the navigator's model in the centers of clusters of high-capacity vertices.

References

1. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Ben A.P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O.M. Models of decision making by a navigator with implicit agreement of the COLREG rules // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2019. – № 1 (20). – С. 31-38
2. Nosov P., Cherniavskiy V., Zinchenko S., Popovych I., Prokopchuk Y., Safonov M. Identification of distortion of the navigator's time in model experiment // Bulletin of University of Karaganda. Instrument and experimental techniques, 2020. - № 4(100). P. 57-70. <https://doi.org/10.31489/2020Ph4/57-70>
3. Nosov, P. S., Cherniavskiy, V. V., Zinchenko, S. M., Popovych, I. S., Nahrybelnyi, Y. A., & Nosova, H. V. (2021). Identification of marine emergency response of electronic navigation operator. Radio Electronics, Computer Science, Control, (1), 208–223. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-20>
4. Mamenko P., Zinchenko S., Kobets V., Nosov P., Popovych I. (2022) Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17.
5. Plokhikh, V., Popovych, I., Zavatska, N., Losiyevska, O., Zinchenko, S., Nosov, P., & Aleksieieva, M. (2021). Time Synthesis in Organization of Sensorimotor Action. BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience, 12(4), 164-188. <https://doi.org/10.18662/brain/12.4/243>
6. Zinchenko S., Ben A., Nosov P., Popovych I., Mateichuk V., Hrosheva O. The vessel movement optimisation with excessive control // Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics, 2020. - № 3(99). P. 86-96. DOI: 10.31489/2020Ph3/86-96
7. Zinchenko S.M., Mateichuk V.M., Nosov P.S., Popovych I.S., Appazov E.S. Improving the accuracy of automatic control with mathematical meter model in on-board controller // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 4. – P. 197-207. DOI 10.15588/1607-3274-2020-4-19
8. Zinchenko Serhii, Mateichuk Vadym, Nosov Pavlo, Popovych Ihor, Solovey Oleksandr, Mamenko Pavlo and Grosheva Olga. "Use of Simulator Equipment for the Development and Testing of Vessel Control Systems" Electrical, Control and Communication Engineering, vol.16, no.2, 2020, pp.58-64. <https://doi.org/10.2478/ece-2020-0009>
9. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Y. (2022) Automatic Optimal Control of a Vessel with Redundant Structure of Executive Devices. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_18.
10. Selected Chapters in Flow Theory [URL: https://www.youtube.com/watch?v=knZXYrKYYbI&list=PL-cKNuVAYAVdYuuV9F5M_1oa7gaffXzA&index=2]
11. Lavoie, Raymond & Main, Kelley & Stuart-Edwards, Anastasia. (2022). Flow theory: Advancing the two-dimensional conceptualization. Motivation and Emotion. 46. 10.1007/s11031-021-09911-4.
12. Paz, Carlota & Taboada, Teresa & Behan-Pelletier, Valerie & Hill, Stuart & Vidal-Torrado, Pablo & Cooper, Miguel & Straaten, Peter & Oertli, J. & Wood, C. & Hossner, L. & Rasmussen, William & Williamson, W. & Selim, H.. (2008). Flow Theory. 10.1007/978-1-4020-3995-9_231.
13. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Избыточность по управлению как количественная мера маневренности судна. Materials of the XI “Modern information technologies in transport, MINTT-2019” May 28-30, 2019 Kherson, Ukraine. С 97-99.

14. Popovych Ihor, Blynova Olena, Nosov Pavlo, Zinchenko Serhii, Kononenko Oksana. Psychological factors of competitiveness of women's youth handball team. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(1), 227 - 235. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.01030>
15. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий. *Materials of the XI "Modern information technologies in transport, MINTT-2019"* May 28-30, 2019 Kherson, Ukraine. С 177-178.
16. Miranda, João. (2021). *Linear Programming Basics*. 10.1201/9781315200323-3.
17. Snyder, Lawrence & Shen, Max. (2019). *The Traveling Salesman Problem*. 10.1002/9781119584445.ch10.
18. Kosztyán, Zsolt & Kiss, Judit. (2008). *Stochastic Network Planning Method*. *Advanced Techniques in Computing Sciences and Software Engineering*. 263-268. 10.1007/978-90-481-3660-5_44.
19. Mariia Masonkova, Olena Dyagileva, Pavlo Nosov. Development of the identification system of cadets' qualification characteristics regarding stakeholder // *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТО 2021)*. С. 280-282.
20. Cherniavskiy V., Diahyleva O., Masonkova M., Nosov P. FORMAL-LOGICAL APPROACHES TO BUILDING INFORMATION MODEL OF NAVIGATOR IN THE FORM OF A DYNAMIC TRAJECTORY // *IV International Maritime Scientific Conference of the Ship Power Plants and Technical Operation: Odessa*. (21 April) 2022.
21. Masonkova M., Dyagileva O., Nahrybelnyi Y. ANALYSIS OF STAKEHOLDER REQUIREMENTS FOR IDENTIFICATION OF THE STATES OF NAVIGATOR'S MODEL // *Матеріали I міжнародної науково - практичної конференції "Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021), Херсон: ХДМА, 03-04 листопада 2021*.

СЕКЦІЯ:

***ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР НА
ТРАНСПОРТІ***

FORMAL IDENTIFICATION OF THE HUMAN FACTOR INFLUENCE OF THE NAVIGATOR IN MODELS OF RANDOM BRANCHING PROCESSES

Koretsky O., Makarchuk D., Nosov P.
Kherson State Maritime Academy

Introduction. The process of determining the set of indices, which can indirectly identify the psychophysiological state of a navigator, faces difficulties in correlating them with the navigational situation [1-3]. Also, if we consider the dynamics of changes of these indicators in time, we can conclude that they are branching processes of individual perception of a navigation situation and, as a consequence, the body's reaction – physiology [4-8]. In view of the difficulty of identifying the factors influencing the physiological reaction of the navigator, which increases the risk of a critical situation, initially we should consider the processes of perception as a random sequence, focused on some primary state [9-12]. However it should be taken into account that in spite of all complexity of identification of negative influence of the human factor it is possible to assert, that the nondegenerate process as a chain of effective decisions of the navigator testifies to availability of safe control of the vessel [13-15]. If the process is abandoned at a certain stage without reaching the final point of the ship's route, it indicates an obvious strategic mistake in ship's control. Also, if the process of ship control becomes endless, looping, for example, when performing maneuvers of approach to a berth during mooring, etc., it is also an indicator of human error in view of biased perception of the navigational situation.

Thus, branching processes of ship control within the framework of evolutionary random algorithms of decision-making by the navigators on the basis of Galton-Watson approaches are considered [16-18].

Random sequence , Z_0, Z_1, Z_2, \dots , where Z_n is the number of particles in the n-th generation. It is also important to denote the set of independently equally distributed random variables $X \left(X_i^{(n)} \right)_{i,n=1}^{\infty}$ as the number of descendants of the i-th particle in the n-th generation, where $P(X \in \square \cup \{0\}) = 1$. If we consider in practice of sea navigation this array of equally distributed random variables can be represented by a navigation chart with indicated depths, navigation objects, ships-targets etc. (Fig. 1). Then each discrete time section of navigation situation development and consequently navigator's reaction to it can be written by formula: $Z_{n+1} = X_1^{(n)} + X_2^{(n)} + \dots + X_{Z_n}^{(n)}$. At each new moment of time t_{i+1} new random variables are "born" in a pattern: $Z_0 = 1$; $Z_1 = X_1^{(1)}$; $Z_2 = X_1^{(2)} + X_2^{(2)} + \dots + X_{Z_1}^{(2)}$

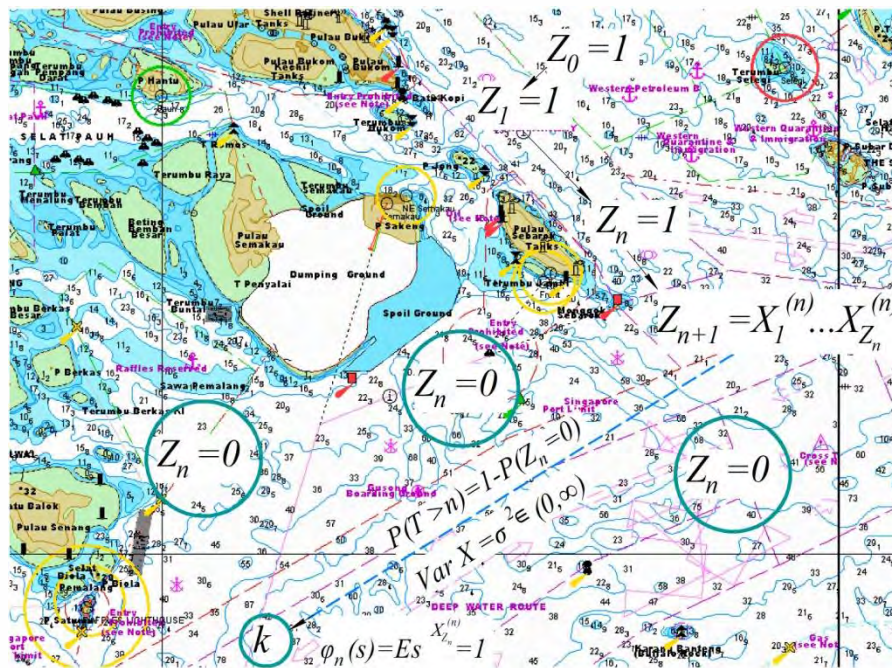


Figure 1. Distribution of random variables on the map

In view of the discreteness of the formation of slice-states $\square \cup \{0\}$, then these processes can be represented in the form of a Markov chain [19]. Where each state has or has not a certain solution or some number of solutions, each of which leads to the next discrete state. In turn, non-resolutions at a certain stage can lead to degenerate processes $T, T = \min\{n \geq 1: Z_n = 0\}$ that have no resultant solutions $\sum_{\emptyset} = 0$.

As a part of the study it is important to determine the likelihood of the risk of degeneration of the chain of actions, that is, the transition to a state with no effective solutions from the side of the navigator: $q = P(T < \infty) = \lim_{n \rightarrow \infty} P(T \leq n) = \lim_{n \rightarrow \infty} P(Z_n = 0)$

Thus, there is a problem of definition of such conditions in which degeneration of processes of effective decision-making by the navigator will not be observed. It is also important to understand that number and quantity of random variables $X_1^{(n)} \dots X_{Z_n}^{(n)}$ can represent a separate set not only navigational parameters as depth, but also a number of others: course and speed of a vessel; weather conditions and maneuvering characteristics; experience of a navigator; psychophysiological condition and others. In this way, the discrete state itself cannot have the same set of parameters at every discrete point in time. The complexity of perception of a state involves transforming its into metadata that allow decisions to be made. It is also necessary to take into account that each previous state is related to the present one and the derivative function of the number of particles in general form will be equal to: $\varphi_n(s) = E s^{Z_n} = \varphi(\varphi \dots \varphi(s) \dots)$ where $E s^{Z_n}$ -is expected value. This indicates that the processes are pseudorandom, since we cannot formally represent the nature of transitions between them. The specification of the number of transitions to new states

allows us to state that the process has a final goal-state k . Then, the derivative function φ_2 will be equal to: $\varphi_2(z) = E s^{X_1^{(2)} + X_2^{(2)} + \dots + X_{Z_1}^{(2)}} = \sum_{k=0}^{\infty} P(Z_1 = k) \varphi^k(s)$

In this case the value of $\varphi_n(s)$ lies in the range of $[0 \dots 1 \dots n]$, where $n > 1$, and the most stable is such that $\varphi_n(s) = 1$. In this case, the process of phased decision-making does not degenerate, $P(T > n) = P(Z_n > 0) = 1 - P(Z_n = 0) \Rightarrow \ddot{P}_n = 1 - \varphi_n(0)$

At step $n + 1$ we have a probability such that it does not contradict the theorem of Kolmogorov $P_{n+1} = g(P_n)$; $P_{n+1} - P_n = -\frac{P_n^2(\sigma^2 + \varphi(1))}{2}$ that in the case of $EX = 1 \Rightarrow EZ_n = 1 = \varphi'_n(1)$ defines the condition where $VarX = \sigma^2 \in (0, \infty)$

Thus it is necessary to determine the non-irreducibility of the decision-making process at some moment "t", and we will consider that the influence on its degeneration will depend on the negative manifestation of the human factor. Consequently, it is important to define the conditions of resistance to degeneracy,

when $\left(\frac{2Z_{[n,t]}}{\sigma^2 n} \Big|_{0 \leq t \leq 1} \Big|_{Z_n > 0} \right) \rightarrow Z^+ \rightarrow e^{-x}$

Let us denote the influence of the human factor as λ , and the mathematical expectation, according to the Laplace transform, will be: $E e^{-\lambda Z^+(1)} = \frac{1}{1 + \lambda}$, $\lambda \geq 0$

The effect of λ can be described by the probability of degeneration at the junction of the two states of the system. $P\left(Z_n > 0, Z_{n+\left[\frac{n}{\lambda}\right]} = 0 \right)$ where the influence of human factors on the effectiveness of branching decision-making processes is decisive

The main problem of research development is the inevitability of building a local-individual classification of the perceived navigational situation. Because unlike pharma classical models, influence of λ on every particular case cannot be unified in relation to other navigators. That is why it is necessary to define an individual algorithm of feature space forming, which is more complex and multivector in its parameters than a navigation chart. Taking into account all told above and in view of insufficient technical possibilities of identification of λ in a full spectrum, we will put forward a hypothesis that for the decision of a problem in determining the impact of λ for the individual navigator it will be enough to define spaces of states from which follows degeneracy of a kind $Z_{n+\left[\frac{n}{\lambda}\right]} = 0$. For this purposes is necessary to

define the maximum possible in the conditions of navigational watch the parametric model of the decision-making navigator.

Conclusion. Thus, the formal description of transitions between discrete states on the graph of decision-making space by a navigator in complex navigational conditions has been obtained. Also conditions and probabilities of degeneration of

result branches of decision-making in conditions of negative influence of human factor are defined.

Further scientific search should be directed on carrying out of experiment as a result of which definition of the sign space of identification of a navigating situation and accompanying risks, variations and chains of decision-making becomes possible. All this will stimulate formal structural definition of the navigator model as a subject of organizational-technical system of maritime transport, which in turn will lead to the reduction of risks of maritime disasters due to human factor.

References:

1. Haponov B.E., Koretsky O.A., Nosov P.S. Assessment of the influence of multifactority of events on the performance of complex navigation maneuvers by navigators // *Матеріали I міжнародної науково - практичної конференції "Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021), Херсон: ХДМА, 03-04 листопада 2021. С. 81-84.*
2. Koretsky O.A., Haponov B.E., Nosov P.S. Experimental study of the captain's fatigue factor influence in critical situations // *Матеріали I міжнародної науково - практичної конференції "Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021)", Херсон: ХДМА, 03-04 листопада 2021. С. 158-160.*
3. Koretsky O., Nosov P., Ben A., Zinchenko S., Prokopchuk Yu., Gurov A. IDENTIFICATION OF SKIPPERS HUMAN FACTOR BY MEANS OF NAVIGATION INFORMATION SYSTEMS // *IV International Maritime Scientific Conference of the Ship Power Plants and Technical Operation: Odessa. (21 April) 2022.*
4. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Ben A.P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O.M. Models of decision making by a navigator with implicit agreement of the COLREG rules // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2019. – № 1 (20). – С. 31-38*
5. Nosov P., Cherniavskiy V., Zinchenko S., Popovych I., Prokopchuk Y., Safonov M. Identification of distortion of the navigator's time in model experiment // *Bulletin of University of Karaganda. Instrument and experimental techniques, 2020. - № 4(100). P. 57-70. <https://doi.org/10.31489/2020Ph4/57-70>*
6. Plokhikh, V., Popovych, I., Zavatska, N., Losiyevska, O., Zinchenko, S., Nosov, P., & Aleksieieva, M. (2021). Time Synthesis in Organization of Sensorimotor Action. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience, 12(4), 164-188. <https://doi.org/10.18662/brain/12.4/243>*
7. Popovych Ihor, Blynova Olena, Nosov Pavlo, Zinchenko Serhii, Kononenko Oksana. Psychological factors of competitiveness of women's youth handball team. *Journal of Physical Education and Sport, 21(1), 227 - 235. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.01030>*
8. Nosov, P. S., Cherniavskiy, V. V., Zinchenko, S. M., Popovych, I. S., Nahrybelnyi, Y. A., & Nosova, H. V. (2021). Identification of marine emergency response of electronic navigation operator. *Radio Electronics, Computer Science, Control, (1), 208–223. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-20>*
9. Zinchenko S., Ben A., Nosov P., Popovych I., Mateichuk V., Hrosheva O. The vessel movement optimisation with excessive control // *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics, 2020. - № 3(99). P. 86-96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>*
10. Zinchenko S.M., Mateichuk V.M., Nosov P.S., Popovych I.S., Appazov E.S. Improving the accuracy of automatic control with mathematical meter model in on-board controller // *Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 4. – P. 197-207. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-4-19>*

11. Zinchenko Serhii, Mateichuk Vadym, Nosov Pavlo, Popovych Ihor, Solovey Oleksandr, Mamenko Pavlo and Grosheva Olga. "Use of Simulator Equipment for the Development and Testing of Vessel Control Systems" *Electrical, Control and Communication Engineering*, vol.16, no.2, 2020, pp.58-64. <https://doi.org/10.2478/ecce-2020-0009>
12. Mamenko P., Zinchenko S., Kobets V., Nosov P., Popovych I. (2022) Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17.
13. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Избыточность по управлению как количественная мера маневренности судна. *Materials of the XI "Modern information technologies in transport, MINTT-2019"* May 28-30, 2019 Kherson, Ukraine. С 97-99.
14. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий. *Materials of the XI "Modern information technologies in transport, MINTT-2019"* May 28-30, 2019 Kherson, Ukraine. С 177-178.
15. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Y. (2022) Automatic Optimal Control of a Vessel with Redundant Structure of Executive Devices. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_18.
16. Convergence of random trees and Galton-Watson processes [URL: <https://www.youtube.com/watch?v=2BURmdY9FMc&list=PL-cKNuVAYAVayZPNnFlxDSLnsvpXUdKe&index=2>]
17. Holroyd, Alexander & Martin, James. (2021). Galton–Watson games. *Random Structures & Algorithms*. 59. <https://doi.org/10.1002/rsa.21008>.
18. Brandenberger, Anna & Devroye, Luc & Goh, Marcel. (2022). Root estimation in Galton–Watson trees. *Random Structures & Algorithms*. <https://doi.org/10.1002/rsa.21072>.
19. Ziemek, Robin & Piribauer, Jakob & Funke, Florian & Jantsch, Simon & Baier, Christel. (2022). Probabilistic causes in Markov chains. *Innovations in Systems and Software Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s11334-022-00452-8>.

UDC 004.8

A COGNITIVE APPROACH TO INTELLIGENT CONTROL THEORY: COMPETENCIES / LEARNING MODULES FOR DISTINCTION TASKS

¹ Prokopchuk Y., ² Ben A., ² Ponomaryova V., ² Nosov P.

¹ *Institute of Technical Mechanics NASU,*

² *Kherson State Maritime Academy,*

Introduction and problem setting. Despite the extensive literature, the paradigmatic foundations of one or another interpretation of competencies, as a rule, are not investigated or postulated. It is necessary to methodologically correctly build a theoretical model of competence, including unconscious processes of cognition, intuition, and natural mechanisms of creativity [1, 2, 3]. Competencies should be closely linked with the genesis of the phenomenon of management, with the natural logic of distinction and management. For this, acts of cognition, types (models) of cognitive control and a model of purposeful activity should be disclosed and systematized [2].

The introduction of the concept of competence into the paradigm of ultimate generalizations - PUG (Z-tasks of discrimination, modules of competence, functional systems, etc.) allows us to define competence in a narrow and broad sense and build its various models for different types of information activity, including cognitive and educational. In applied terms, the proposed approach can be applied to the analysis and improvement of the educational process, as well as human-machine control systems for ships [4 - 7].

The main objective of this study is to develop a concept and methods for the automatic formation of human-machine learning-competency modules for multiple discrimination tasks. The concept and methods are developed within the framework of asymptotic rationality, including subjective dynamic logic.

Main research material. The basic acts of the thought process are distinctions. The "system of distinction" allows to differentiate the sequence of phenomena and events replacing each other (time), the order of location to simultaneously coexisting objects (space). This system allows you to perceive the dynamic "coexistence" and "interaction" of objects through the definition of their relationships. Let us denote the target set of discrimination objects by Z , and call the corresponding act of discrimination the Z-task of discrimination [2]. Z-tasks of distinction can be tasks of diagnostics, recognition, forecasting, choice of control, discrimination of needs, decision making (Z-task, Z-Difference, Z-Distinguishing, Z-Differentiation, Z-Control). Examples of Z-tasks of discrimination (chunking mechanism):

$Z = \{1 - \text{Threat}; 2 - \text{Gray Area}; 3 - \text{Non-Threat}\}; Z = \{1 - \text{True}; 2 - \text{False}\};$

$Z = \{1; 2; 3; 4\} = \{1 - \text{GREEN (I'm OK)}; 2 - \text{YELLOW (I corrected an anomaly myself)}; 3 - \text{ORANGE (I have data to transmit)}; 4 - \text{RED (Red Alert! I need help NOW!)}\}.$

The examples show that the problems of pattern recognition and

discrimination of needs are a special case of discrimination problems. The implicit formation of tools for solving the Z-tasks of discrimination, the formation of “images of tasks” is directly related to the scientific problem of “building an image of reality in the mind of an individual”.

Given the "deep unconscious" [3], there is a "continuum of discrimination tasks". Each Z-task of discrimination forms its own module of learning and competence. Let us introduce an important “principle of reformulations”:
launching into a solution of any Z-problem leads to the automatic launch into a solution and maturation/incubation of all coarser problems defined by the sketch network. This principle underlies the phenomenon of self-actualization of discrimination tasks (most tasks do not require a “conscious” launch and control) and the phenomenon of task continuum. Note that an ideologically close principle plays a decisive role in Altshuller's theory of inventive problem solving. We also accept two principles of productivity: intuitive, unconscious experience is constantly accumulated as a “by-product” of purposefully implemented actions; the process of "recognition", "distinction", "imagination" is a continuous process.

Any learning-competency module should develop the ability of the specialist, the agent, to extract only "Meaningful Information" or "Control Information". Such information is determined, among other things, by intuitive processes of proactive control (result of natural learning based on experience). The incoming information should confirm (or not confirm) the correctness of action and safety conditions in the minimum way (most resource-economical). Control parameters can be set by "internal codes" for achieving the goal.

The term "Control Information" is borrowed from Peter A. Corning (Control information is an attribute of relationships between things and is defined as the capacity to acquisition control, disposition, and utilization of matter/energy in purposive or cybernetic processes) [8]. He considers this concept the "missing link" of Wiener's cybernetics. Indeed, the functional (content and semantic) role of information in cybernetic processes cannot be directly measured using the statistical approach of Claude Shannon, which was also adopted by Wiener (Shannon information is blind to the functional properties of information).

From a formal point of view, the information in a single finite object (for example, in a binary string) is usually measured by its Kolmogorov complexity. This information can be divided into two parts: information that takes into account the useful regularity present in the object, and information that takes into account the remaining random information. There can be several classes of models in which the regularity is expressed. This approach is also applicable to the flow of events (“arrows of time”).

The selection of meaningful / control information is associated with subjective control paradigms (Subject-Oriented Control Paradigms). Such management paradigms form tasks for general AI (including assistive technologies in transport), which contributes to the successful practical application and development of AI, as well as mechanisms for controlling and neutralizing negative consequences [5]. One of the features of subjective control and decision-making systems is their implicit permanent incubation (asymptoticity), i.e. change

(sometimes hardly noticeable or "almost smooth", sometimes spasmodic). This leads to non-monotonicity of solutions even to well-known tasks, frequent revision and emotional reassessment of past events-decisions, which causes instability of mental states and judgments (one of the factors affecting professional stability [4]).

The "arrow of cognition" and its attractor – "thin slice" – a set of extremely generalized heuristics or "internal codes" (the most condensed meaning within the framework of a specific task of distinction) is responsible for highlighting significant/control information within the framework of asymptotic rationality and any task of distinguishing [2]. Internal codes and precursors (probabilistic patterns) are used to solve discrimination problems: recognition, diagnostics, forecasting, control. Inner codes with large reinforcement in the database of precedents can be considered as subjective parameters of the order of development of complex situations, for example, navigation situations [5].

The full set of detail varying degrees heuristics, formed by the "arrow of knowledge", as well as the cascade (fractal) principle of refining heuristics-actions determine the subjective dynamic logic. Thanks to incubation, the mechanisms of intuition-premonitions improve and become more economical, embodied and faster, reflecting the general trend of transition from fragmented knowledge to integrated knowledge. An important component of asymptotic rationality is the final computational rationality (the maximum level of individual competence in a particular discrimination task). One of the consequences of asymptotic (emergent) rationality is a permanent jump-like change in the control system within the framework of each discrimination task (a natural mechanism of autopoietic self-optimization and, therefore, antifragility).

The dynamic logic of thinking underlies decision making under conditions of variable uncertainty, which reflects the natural desire to reduce complexity and manage cognitive load. Examples are the tasks of distinguishing objects at different distances or with variable resources. As the conditions of measurement or concentration of attention improve, decisions can be refined (the logic of "taxiing") [1, 2]. The development of the dynamic logic of thinking is relevant, in particular, for operators of complex systems, including transport systems.

The basis of cognitive-educational and managerial competencies is an implicit-explicit mechanism for the formation of discrimination tasks and tools for solving problems - bases of own forms (bases of SF) based on internal codes of situations images and precursors [2]. The development of the task-inductor space and morphological calculations within the framework of "body-connectome-cognitome-interactome", due to scale coherence and auto/hetero-associativity, stimulates the action of "principle of reformulations", the phenomenon of "continuum of discrimination tasks" and intuition [2].

Thus, PUG allows you to build an "internal" or paradigm model of basic cognitive-behavioral competencies. As a result of applying such a model to educational activities, we obtain a model of cognitive-educational competencies in a general form. Therefore, on the basis of PUG, it is possible to formulate a transdisciplinary definition of concept "competence", generalizing the theoretical foundations and practice of applying the concept, both in education and in other

areas of activity, including transport control [9-14].

The Z-competence module (CM), Operational Module or “knowledge asset” (unit) is a collection of all structures within the Z-task of discrimination (Units of Meaning and Processing). CM provides answers to two important questions that have caused considerable controversy among cognitive psychologists and educators: What stages does information go through during processing? How is information presented in memory?

CM is a key tool for implementing the tasks of knowledge management, competencies (Human Capital Management). The degree of CM structures formation at different points in time is different. The rate of evolution and a particular CM depends on the information-motor tension E_Z (the level of cognitive-search motivation), in particular, the frequency of solving educational, everyday or professional tasks. Partner systems, cognitive simulators, intelligent virtual environments, "intelligent webs", AI assistants and avatars can significantly speed up this process, as they are able to quickly find the ultimate knowledge structures with high intersubjective reliability.

For a formal description of learning-competency modules, we introduce the following notation (based on [2]):

$\Omega(\{\tau/T_0\}, Z) = \{\alpha(\{\tau/T_0\}, z/Z)\}$ – base of precedents in the Z-problem of discrimination (we will consider descriptions of precedents $\Omega = \{\alpha\}$ with complete information, i.e. there are values of all tests from $\{G(\tau)\}$);

$\{G(\tau)\}$ – test domain network bank;

$\{Gv(\tau)\}$ – bank of networks of test values;

$\{Gs(\alpha)\}$ – networks of situations sketches $\Omega = \{\alpha\}$;

$\alpha(\{\tau/T\}, z/Z)$ – this is a separate sketch in the coordinate system $\{\tau/T\}, z/Z$ (Combinatorial generalization - the ability to understand and produce novel combinations of already familiar elements - is considered to be a core capacity of the human mind);

$V(\{\underline{a}/A\}, z/Z)$ or $V(\{\underline{a}/A\}, e/E, \{\mu\}_V, z/Z)$ – ideal heuristics, where e/E – required resources, $\{\mu\}_V$ – implementation mechanisms with the help of society, teams, agents; tests $\{\underline{a}/A\}$ play the role of an *associative base*, z/Z - induction center;

$\{R\}_{Full}, \{V\}_{Full}$ – full of precursors and ideal heuristics;

$\{R^*\}_{Full}, \{S^*\}_{Full}$ – "thin slices" of precursors and ideal heuristics (condensed meaning is the essence of asymptotic rationality);

$\{\{S^*\}_{Min}\}_{Full}$ – the basis of the Limiting Knowledge Models based on a “thin slice” (the LKM basis is an analogue of the “thousands of brains” concept);

$\{\{\chi\}_S\}, \{\{\chi\}_R\}, \{\{\chi\}_{Min}\}$ – operational characteristics of heuristics, precursors, limiting knowledge models (costs, risks);

$\{S^\bullet, R^\bullet\}$ – socially verified heuristics and precursors;

$\{\{S^*\}_{Min}\}^*$ – critical paths on a set of knowledge models (the most commonly used discrimination strategies);

FS – functional systems (Functional Systems: the result of the implementation of limiting knowledge models), CrPaths - critical paths on a set of

functional systems;

$\{f/\mu\}_A, \{f/\mu\}_V$ – inductors (generalized entanglement).

Heuristic triggering $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$ (inductor) not only activates the result \underline{z}/Z , but simultaneously triggers "maturation/incubation" and the implicit solution of the discrimination/recognition Z-problem, as well as $\{A\text{-Task}\}$, implementing an internal audit of information flows ("soft measurement" or "jury of intuition"; the concept of "task continuum", System 0).

Simplistically, the stages of subjective categorization, the emergence of knowledge, embodiment and confusion within the framework of the "Z-module of competence" (Z-holon) can be depicted as the following scheme ("large blocks" - «chunks»); a parsimonious cognitive architecture can account for apparent domain specificity):

Unconscious Unit | Chunk | Operational Module:

$$\begin{aligned} &\Omega(\{\tau/T_0\}, Z), \{G(\tau)\} \vee \{Gv(\tau)\} \rightarrow \{Gs(\alpha)\} \rightarrow \{R\}_{Full}, \{V\}_{Full} \rightarrow \\ &\{R^*\}_{Full}, \{S^*\}_{Full} \rightarrow \{\{S^*\}_{Min}\}_{Full} \rightarrow \{\{\chi\}_S\}, \{\{\chi\}_R\}, \{\{\chi\}_{Min}\} \rightarrow \{S^\bullet, R^\bullet\} \rightarrow \\ &\rightarrow \{\{S^*\}_{Min}\}^* \rightarrow \{FS\} \rightarrow \{CrPaths\}, \quad E_Z \geq 0, \end{aligned}$$

Entanglement: $\{V\} = \{V(\{\underline{a}/A [\{f/\mu\}_A]\}, \underline{z}/Z [\{f/\mu\}_V])\},$

MicroConnectome $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle, \quad \Sigma_Z E_Z \leq E,$

CausalModel $_{\Xi}(\Omega, \{G(\tau)\}), \quad \Xi \in \{\Xi\},$

Stream of Solved Z-Tasks | Local 'Arrows of Time': $\{LAoT\}_Z,$

Collections of Experience Replay Data - CERD: $UnconsciousUnit \subset CERD,$

The emergence of PMZ bases and critical paths will be attributed to the main result of the 1st stage of abilities (knowledge) formation. The second and third stages are realized thanks to the practical mass solution of distinction Z-problems (the flow of local "arrows of time"). It is the stages of embodiment and operational-causal closure (emergence of the Z-holon of System 0 [3]) that characterize the highest professional experience (expert level). The embodiment allows you to dramatically reduce the cost of resources for management and increase the speed of response. All three stages together develop emotional space-time thinking within the Z-competence. The mechanism of competencies system genesis is similar to the mechanism of formation, abilities of subject, an agent.

References

1. Perlovsky L., Shkodyrev V. (2020). Physics of Mind – A Cognitive Approach to Intelligent Control Theory. In book: Cyber-Physical Systems and Control. Springer
2. Prokopchuk Y.A. (2017). Sketch of the Formal Theory of Creativity.

Dnepr, UA: PSACEA Press. 452 p.

3. Prokopchuk Y., Nosov P., Zinchenko S., Popovych I. (2021). New approach to modeling deep intuition. Materials of the 13th Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2021)». Kherson, Ukraine: XSMA. p. 37 – 40.

4. Koretsky O., Nosov P., Ben A., Zinchenko S., Prokopchuk Yu., Gurov A. (2022). Identification of skippers human factor by means of navigation information systems. Materials of the IV International Maritime Scientific Conference of the Ship Power Plants and Technical Operation (April 18 - 21). Odessa. Ukraine: Odessa National Maritime University.

5. Nosov P. S., Popovych I. S., Cherniavskiy V. V., Zinchenko S. M., Prokopchuk Y. A., Makarchuk D. V. (2020). Automated identification of an operator anticipation on marine transport. Radio electronics, Computer science, Control. № 3 (54). p. 158–172. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-15>

6. Nosov P., Zinchenko S., Ben A., Prokopchuk Y., Mamenko P., Popovych I., Moiseienko V., Kruglyj D. (2021). Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2 No. 9 (110): Information and controlling system. 55-68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>.

7. Nosov P., Cherniavskiy V., Zinchenko S., Popovych I., Prokopchuk Y., Safonov M. (2020). Identification of distortion of the navigator's time in model experiment // Bulletin of University of Karaganda. Instrument and experimental techniques,. № 4(100). p. 57-70. <https://doi.org/10.31489/2020Ph4/57-70>.

8. Corning P.A. (2007). Control information theory: the ‘missing link’ in the science of cybernetics. Systems Research and Behavioral Science. Volume 24, Issue 3 p. 297-311. <https://doi.org/10.1002/sres.808>

9. Mamenko P., Zinchenko S., Kobets V., Nosov P., Popovych I. (2022) Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17.

10. Popovych Ihor, Blynova Olena, Nosov Pavlo, Zinchenko Serhii, Kononenko Oksana. Psychological factors of competitiveness of women’s youth handball team. Journal of Physical Education and Sport, 21(1), 227 - 235. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.01030>

11. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Y. (2022) Automatic Optimal Control of a Vessel with Redundant Structure of Executive Devices. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_18.

12. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий. Materials of the XI “Modern information technologies in transport, MINTT-2019”

May 28-30, 2019 Kherson, Ukraine. С 177-178.

13. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Ben A.P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O.M. Models of decision making by a navigator with implicit agreement of the COLREG rules // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2019. – № 1 (20). – С. 31-38

14. Nosov, P.S., Cherniavskiy, V.V., Zinchenko, S.M., Popovych, I.S., Nahrybelnyi, Y.A., & Nosova, H.V. (2021). Identification of marine emergency response of electronic navigation operator. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), 208–223. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-20>

СЕКЦІЯ:

***КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТИКА І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ
УПРАВЛІННІ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ***

ВЛАСТИВОСТІ ДО ПОБУДОВИ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ АВІАЦІЙНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Товкач С.С.

Національний авіаційний університет, Київ

Вступ. Властивості авіаційного газотурбінного двигуна (ГТД) можуть відображатися за допомогою математичних моделей: термогазодинамічні (робочий процес), масогабаритні, екологічні, технологічні, економічні та інші характеристики. Далі моделювання розглядається як результат визначення тяги або потужності двигуна.

Математична модель робочого процесу авіаційного ГТД – сукупність залежностей, рівнянь, нерівностей і логічних умов [1], яка пов’язує термогазодинамічні характеристики двигуна і його вузлів, а також параметри робочого тіла в різних перерізах робочого тракту з вихідними даними, зовнішніми умовами і умовами регулювання [1].

Основними задачами математичного моделювання робочого процесу авіаційних ГТД є:

- термогазодинамічний розрахунок двигуна на розрахунковому режимі з визначенням геометричних розмірів основних перерізів;
- оптимізація параметрів робочого процесу із врахуванням критеріїв і обмежень, в тому числі системі ЛА;
- визначення висотно-швидкісних дросельних характеристик двигуна із заданою проточною частиною і програмою керування;
- вибір оптимальної програми регулювання двигуна, яка дозволяє виконувати технічні умови і вимоги;
- визначення параметрів і характеристик двигуна на перехідних режимах розгону, скидання та зустрічної прийомистості;
- визначення параметрів двигуна на режимах, що значно відрізняються від розрахункових (запуск, авторотація, нештатні ситуації);
- аналіз результатів випробувань двигуна.

Метою дослідження є визначення ефективних рішень при побудові математичних моделей авіаційного двигуна, враховуючи весь діапазон експлуатаційних режимів двигуна та можливість переналаштування в залежності від конкретної задачі дослідження.

Моделі робочого процесу. Математичні моделі першого рівня [1,2] дозволяють визначати характеристики авіаційних ГТД всіх відомих схем: одно- і багатопотурбінних ТРДД(Ф)см зі змішуванням потоків із загальною форсажною камерою; одно- і багатопотурбінних ТРДФ; дво- і трьохпотурбінних ТРДД із підпірними ступенями зі змішуванням потоків із роздільним стоком із контурів; одно- і багатопотурбінних ТВД.

Математичні моделі авіаційних ГТД цих схем за своєю структурою принципово достатньо близькі. На рис. 1 приведений умовний алгоритм математичної моделі авіаційного ГТД.

Розглянемо структуру математичної моделі першого рівня двоконтурного N-вального ТРДД(Ф)см зі змішуванням потоків без підпірних ступеней.

Перша група рівнянь для умов балансу витрат в компресорі:

$$G_{kj} - G_{kj+1} - \Delta G_{kj} = 0, \quad (1)$$

Друга група рівнянь відображає баланс витрат газу в турбіні

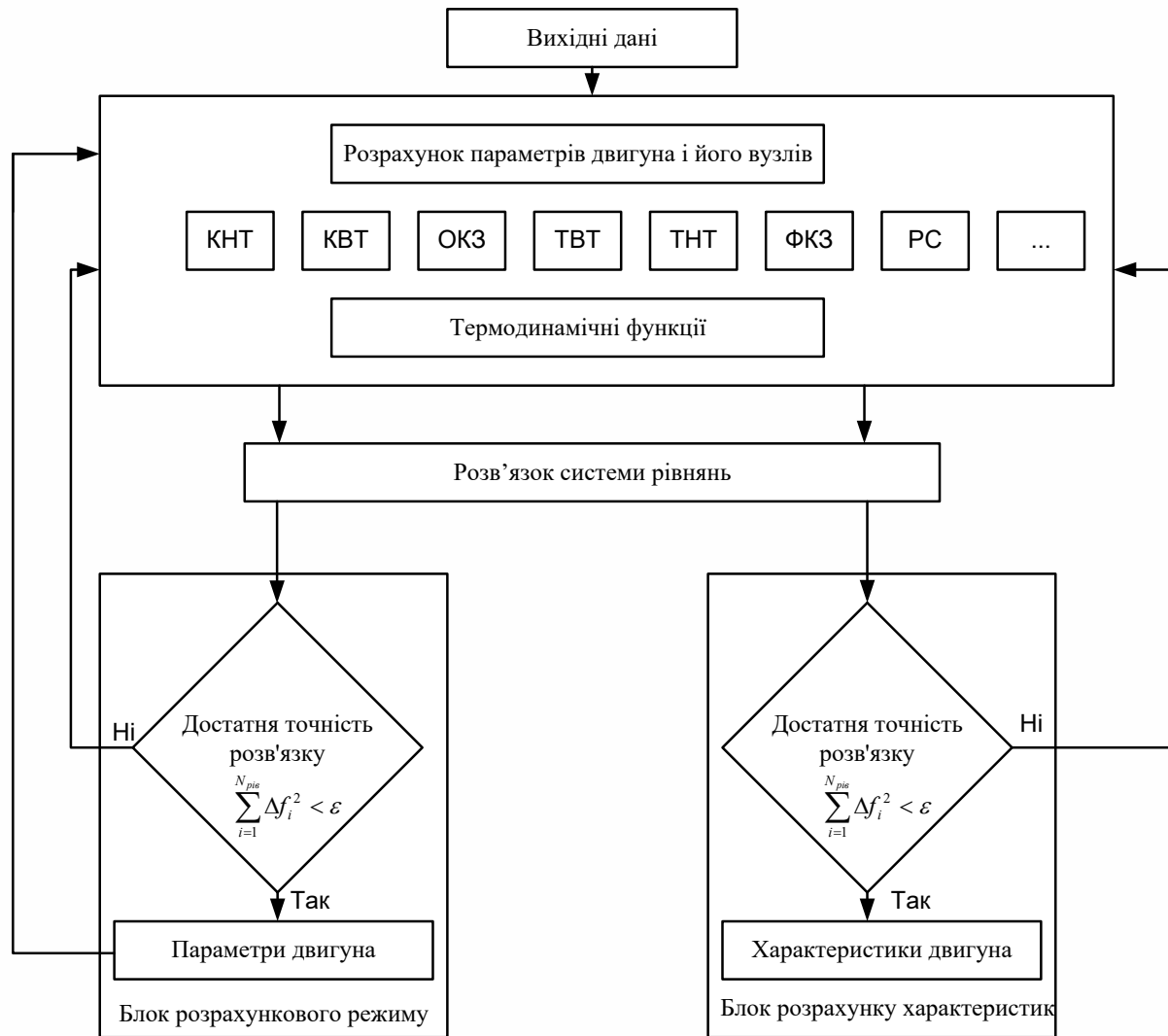


Рисунок 1 – Умовний алгоритм математичної моделі авіаційного ГТД

$$G_{Tj} - G_{KC} + \sum_{i=j}^N \Delta G_{CAi} + \sum_{i=j+1}^N \Delta G_{PKi} = 0, \quad (2)$$

Рівняння балансу потужностей на валу складають третю групу рівнянь:

$$[G_{Tj} + \Delta G_{CAj}]^* L_{Tj}^* \eta_{mexj} - G_{kj}^* L_{kj} - \Delta N_j = 0, \quad (3)$$

Четверту групу рівнянь складають три умови регулювання (режими роботи основної і форсажної камери згорання, положення ступок реактивного сопла)

$$\begin{aligned} T_{KC}^* - T_{KC\text{ЗДН}}^* &= 0; \\ T_{\Phi}^* - T_{\Phi\text{ЗДН}}^* &= 0; \\ F_{скр} - F_{скр\text{ЗДН}} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Для розподілу температури потоку повітря компресора/турбіни задача має вигляд:

$$U_t = U_{xx} \quad 0 < x < 1; 0 < t < \infty \quad (5)$$

Граничні умови:

$$\begin{cases} U(0,1) = 1 \\ U_x(1,t) = -[U(1,t) - g(t)] \end{cases} \quad (6)$$

Початкові умови:

$$U(x,0) = 0 \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (8)$$

Для розв'язку побудуємо сітку

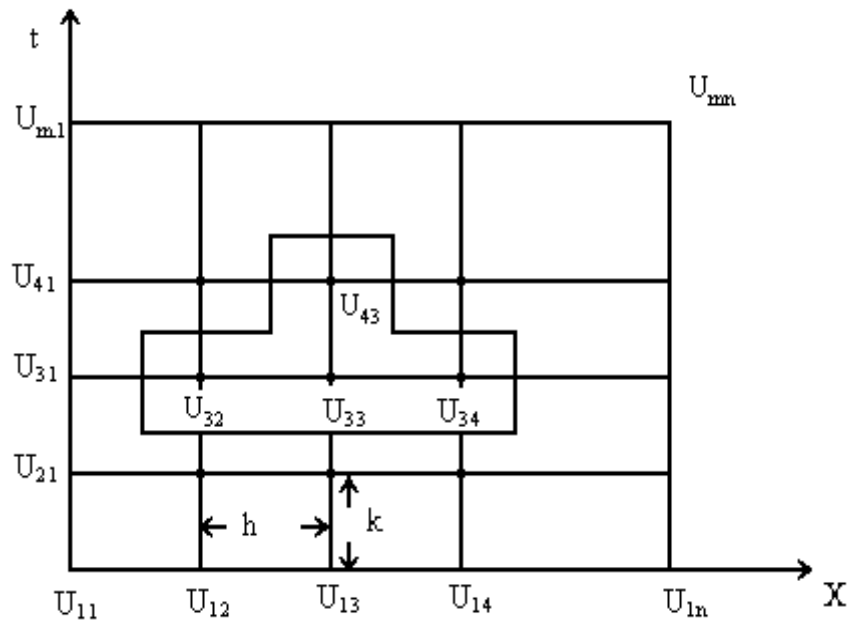


Рисунок 2 – Обчислювальна сітка для розрахунку параметрів моделі ГТД

Значення U_{ij} на лівій та нижній сторонах сітки відомі з граничних та початкових умов. Задача полягає в тому, щоб знайти значення у всіх інших точках. Для розв'язку замінимо частинні похідні U_t та U_{xx} їх кінцево-різницевиими апроксимаціями

$$U_t = \frac{1}{k} [U(x, t+k) - u(x, t)] = \frac{1}{k} [U_{i+1,j} - U_{i,j}], \quad (9)$$

$$U_{xx} = \frac{1}{h^2} [U(x+h, t) - 2U(x, t) - U(x-h, t)] = \frac{1}{h^2} [U_{i,j+1} - 2U_{i,j} + U_{i,j-1}],$$

$$U_{i+1,j} = U_{i,j} + \frac{k}{h^2} [U_{i,j+1} - 2U_{i,j} + U_{i,j-1}] \quad (10)$$

Апроксимуємо першу похідну в граничній умові $U_x(1, t) = -[U(1, t) - g(t)]$ (заміняємо лівою різницевою схемою, так як справа від правої точки немає точок):

$$\frac{1}{h} [U_{i,n} - U_{i,n-1}] = -[U_{i,n} - g_i]$$

Остаточно,

$$U_{i,n} = \frac{U_{i,n-1} - hg_i}{1+h} \quad (11)$$

Розглянемо схему:

$$\frac{U_{i+1,j} - U_{i,j}}{k} = \frac{1}{h^2} (U_{i+1,j+1} - 2U_{i+1,j} + U_{i+1,j-1}) \quad (12)$$

з граничними умовами $U_{i,0} = \alpha$; $U_{i,n} = \beta$.

Суттєва відмінність полягає в тому, що U в правій частині входять не з попередньої часової поверхні, а з цієї ж, тобто в правій частині всі U невідомі. Тому ми повинні розглядати (12), як систему рівнянь для визначення $U_{i+1,j}$ ($j = 1 \dots N$).

Перепишемо схему, врахувавши $\mu = \frac{k}{h^2}$:

$$(1+2\mu)U_{i+1,j} - \mu(U_{i+1,j+1} + U_{i+1,j-1}) = U_{i,j}, \quad j = 1 \dots N. \quad (13)$$

Таким чином, маємо систему лінійних рівнянь з трьома невідомими в кожному рівнянні. Але кожне невідоме входить в три різні рівняння, маючи індекси $j-1$, j та $j+1$.

Тобто в матрично-векторній формі:

$$\begin{bmatrix} 1+2\mu & -\mu & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\mu & 1+2\mu & -\mu & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\mu & 1+2\mu & -\mu & \dots & 0 \\ \dots & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & -\mu & 1+2\mu & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{i+1,1} \\ U_{i+1,2} \\ U_{i+1,3} \\ \dots \\ U_{i+1,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{i,1} + \mu\alpha \\ U_{i,2} \\ U_{i,3} \\ \dots \\ U_{i,n} + \mu\beta \end{bmatrix} \quad (14)$$

Тут матриця переходу має стрічковий трьохдіагональний вигляд. Граничні умови $\mu\alpha$ та $\mu\beta$ входять як додаткові доданки біля першого і останнього компонентів вектора відомих значень функції (з попереднього кроку по часу). Такі системи можливо розв'язувати методом прогонки, що дозволяє значно зменшити кількість операцій.

Схема стійка при співвідношенні Δt та Δx , так як алгоритм безумовно стійкий.

Висновок. Вплив елементів теплової нестационарності на перебіг теплових режимів авіаційних ГТД може бути значним. Наприклад, процеси прийомистості «холодного» двигуна і двигуна, який пропрацював протягом тривалого часу на максимальному режимі, можуть значно відрізнятись як по часу виходу на максимальний режим, так і за характером зміни основних параметрів (тяги, частоти обертання і т.д.).

Тому математична модель авіаційного ГТД на перехідних режимах вимагає відповідних доповнень: врахування накопичення маси робочого тіла в рівняннях нерозривності для різних перерізів проточного тракту; рівняння балансу потужності для кожного каскаду турбокомпресора повинно включати динамічну складову, пов'язану із зміною в часі частоти обертання каскаду; повинен бути введений блок розрахунку теплового стану окремих вузлів; повинен бути введений блок розрахунку зміни радіального зазору лопаткових машин.

Введені всі необхідні доповнення дозволяють отримати математичну модель ГТД із врахуванням впливу елементів теплової нестационарності.

Нестационарні процеси в двигуні, які виникають при різких локальних змінах тиску і температури повітря, зазвичай, мають складний просторовий характер та вимагає використання спеціальних більш складних, побудованих на методах і моделях обчислювальної газової динаміки, просторові методи розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Терещенко Ю.М.. Аэродинамика компрессоров газотурбинных двигателей с газодинамическим управлением течением: монография / Ю.М. Терещенко, В.А. Богуслаев, Е.В. Дорошенко, И.Ф. Кравченко, И.А. Ластивка, М.М. Митрахович, Ю.Ю. Терещенко: под. ред. Ю.М. Терещенко. – Запорожье: АТ «МОТОР СИЧ», 2019. – 406 с.
2. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). Под редакцией Скибина В.А., Солонина В.И. – М.:ЦИАМ, 2004 г. – 422 с.
3. Tovkach S.S. The Liebman Process for Distribution of the Information Flows of the Engine Automatic Control Systems / S.S. Tovkach // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2020. – № 1(12). – С. 01003(1)-01003(5).

КОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ДОПОМІЖНИХ БАЛАСТІВ ВАНТАЖНОГО САМОХІДНОГО ПІДВОДНОГО НОСІЯ

Кириллов Є. Д., Сірівчук А. С. к.т.н.

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова
(Україна, м. Миколаїв)*

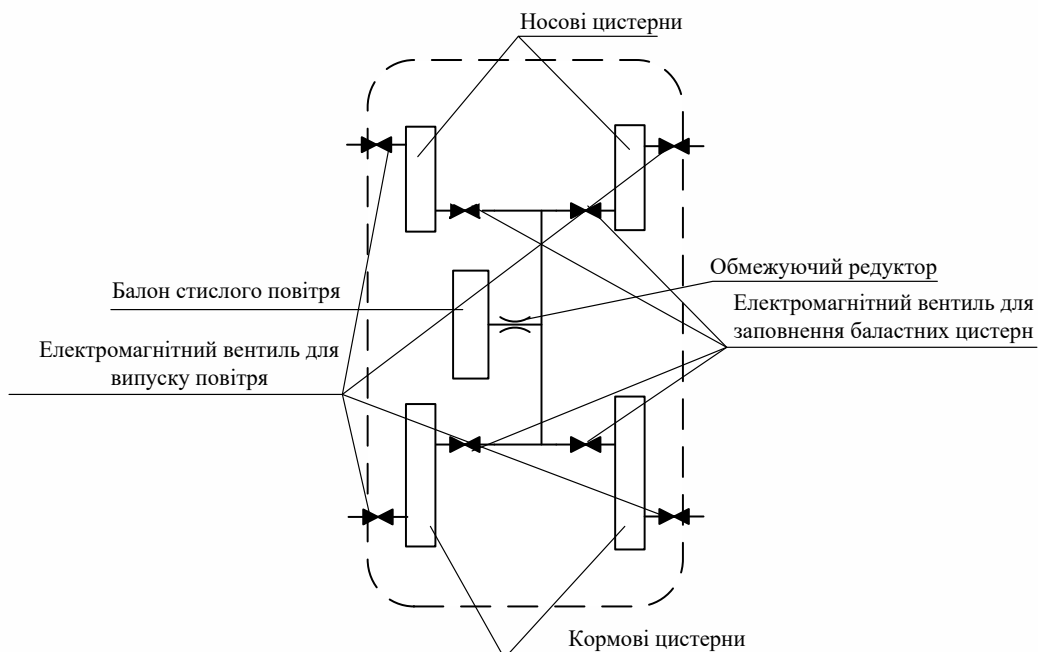
Вантажний самохідний підводний носій (ВСПН), призначений для транспортування з судно-носія (СН) вантажів у вигляді автономних радіогідроакустичних станцій (АРГАС) сумірних з масою і габаритами самого підводного носія призначений для вирішення двох основних задач [1,2]:

- 1) транспортування та установка корисного вантажу на позицію (дно моря), спливання на поверхню моря після його установки;
- 2) самостійного занурення, визначення точки знаходження вантажу на дні моря, автоматичного захвату та підйому її на поверхню моря.

Система допоміжних баластів слугує для компенсації крену та диференту після встановлення або забирання вантажу. Оскільки маса підводного носія, а також його центр мас зміщується відносно модуля можливий перекис апарата, що призведе до погіршення його маневрових здібностей. Система допоміжних баластів регулюється за допомогою стислого повітря, оскільки такий спосіб є найбільш ефективним.

Окрім зміни кутів крену та диференту корисний вантаж також впливає на саму плавучість підводного носія, тому задачею системи допоміжних баластів є також регулювання власної плавучості підводного носія.

Система допоміжного баласту (рис. 1) складається з чотирьох баластних цистерн, електромагнітних клапанів, обмежуючого редуктору та балону зі стислим повітрям для заповнення баластних цистерн.



Рисуюнок 1 – Структура системи допоміжних баластів

Після встановлення Модулю-1 відкриваються вентиля для заповнення водою в носовій частині апарата, таким чином компенсується відпущена вага вантажу. Баластні цистерни розраховані таким чином, щоб можна було випустити лише 90% повітря і цим компенсувати зміну плавучості апарата. Аналогічно розраховано й роботу з Модулем-2.

В конструкцію баластних цистерн (рис 2) входить два електромагнітних клапана, конструктивні отвори та датчики рівня заповнення, в якості яких виступають геконові реле та поплавки з магнітами.

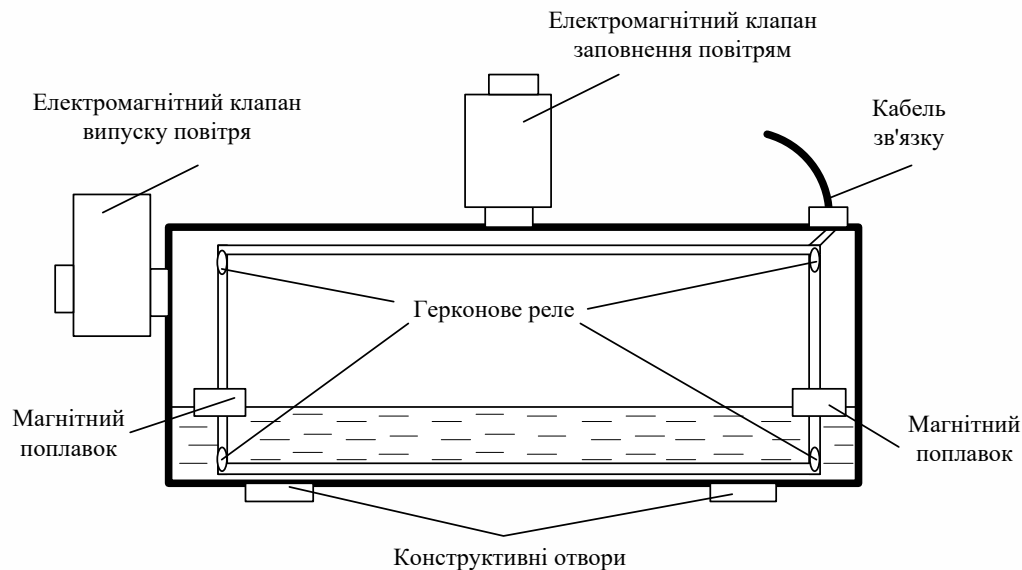


Рисунок 2 – Конструкція баластної цистерни

Для заповнення баластних цистерн відкривається електромагнітний клапан для випуску повітря, а вода проходить через конструктивні отвори до моменту покриття водою верхньої частини роз'єму електромагнітного клапана або до припинення команди оператором. Аналогічним чином працює система заповнення повітрям, де під тиском повітря вода виходить через відповідні конструктивні отвори.

Для відображення стану заповнення баластних систем встановлюються геконові реле, де при приближенні магнітного поплавка спрацьовує замикання реле.

Висновок

Представлена система допоміжних баластів призначення для забезпечення компенсації зміни плавучості і вантажного самохідного підводного носія при встановленні спеціалізованого корисного вантажу. Подальший розвиток тематики передбачає автоматизацію процесу стабілізації підводного носія не тільки при встановленні/підніманні корисного вантажу, а й при початковому налаштуванні плавучості перед початком роботи, що обумовлено різними районами експлуатації носія та можливістю зміни плавучост самого вантажу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Войтасик, А. М. Спеціалізований вантажний саморушній телекерований підводний носій як інструмент моніторингу підводної обстановки України [Текст] / А. М. Войтасик / Автоматика та електротехніка: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та молодих учених з міжнародною участю: – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 141-143.
2. Войтасик, А. М. Автоматизація процесу установки вантажу на морське дно [Текст] / А. М. Войтасик // Сучасні проблеми автоматичної та електротехніки: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю – Миколаїв: НУК, 2015. – С. 46-47.

УДК 629.5

РЕГУЛЯТОР ШВИДКОСТІ АВТОНОМНОГО НЕНАСЕЛЕНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТУ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ УПРОУ РУШІЙНО-КЕРМОВОГО ПРИСТРОЮ

*Блінцов В. С., д.т.н, професор, Грудініна Г. С., викладач кафедри ЕІС та РК
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Вступ. В наш час багато уваги приділяється роботизованим апаратам здатним виконувати важкі та небезпечні місії із залученням людини тільки у якості оператора або для постановки завдання. Для здійснення складних місій під водою розробляється широкий спектр підводних апаратів-роботів здатних функціонувати автономно або прив'язаних до судна носія. Для багатьох виконуваних місій успіх може залежати від точності позиціонування і стабілізації руху апарату. Підвищення швидкодії та точність підтримання заданої швидкості руху підводного апарату за умов зовнішнього впливу відіграють важливу роль у завданні стабілізованого руху.

Особливості режимів роботи автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА) обумовлюють пошук нових нетрадиційних підходів до вирішення задач керування їх рухом. Огляд науково-технічної літератури по системам керування показує, що магістральним напрямком подальшого розвитку теорії синтезу систем автоматичного керування автономними підводними апаратами в умовах невизначеності параметрів АНПА та характеристик зовнішнього середовища є застосування елементів штучного інтелекту – нечітких і нейромережних регуляторів, а також регуляторів на базі інверсних моделей об'єкту керування.

Основний матеріал. Автономні ненаселені підводні апарати з позиції теорії керування прийнято розглядати як абсолютно тверде тіло, що дає змогу не враховувати силову взаємодію між його елементами, які мають масу. В основу математичної моделі динаміки АНПА покладені рівняння динаміки поступального та обертального руху твердого тіла та кінематичні рівняння зв'язку кутових і лінійних швидкостей [1]. Зазвичай гідродинамічні обводи корпусів АНПА обирають такими, щоб їх обтікання потоком води мало ламінарний характер. При цьому рушійний пристрій (РП) виносять за корпус АНПА так, що гребний гвинт працює у практично не збуреному потоці. На рисунку 1 представлено АНПА, що конструктивно відповідає описаним вимогам [2].



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд АНПА з винесеним поза корпус РКП – AUV PingGuin

В роботі розглядається АНПА, що має рушій співвісний зв'язаної системи координат, вектор упору якого проходить через центр мас апарата. Основними складовими рушійно-кермового пристрою АНПА є електродвигун (ЕД), редуктор-валопровід (РВ), гребний гвинт (ГГ), напрямна чи поворотна насадка.

Упор рушійно-кермового пристрою, можна представити у вигляді суми упорів гребного гвинта

$F_{ГГ}$ та самої насадки F_n [3]: $F_k = F_{ГГ} + F_n = F_{ГГ} \cdot (1 + t_n)$, де $t_n = \frac{F_n}{F_{ГГ}}$ – коефіцієнт

засмоктування насадки, таблиця 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта t_n

σ^*	1	2	3	4	5	6	7	8	10	∞
t_n	0.23	0.32	0.39	0.44	0.48	0.52	0.55	0.58	0.62	0.9

* σ – коефіцієнт навантаження рушійного пристрою по упору [4].

Робота рушійно-рульового пристрою підводного апарата у маневрових режимах, зазвичай, протікає у косому потоці води, що набігає. Відомо, що у таких режимах упор РКП суттєво змінюється [5, 6]. Тому цю обставину необхідно враховувати при керуванні просторовим рухом підводного апарату. Для АНПА врахування вказаного явища є особливо актуальним, оскільки стабілізація параметрів їх просторового руху має виконуватись в автоматичному режимі [7].

З цією метою, засобами математичного моделювання проведено дослідження гідродинамічних параметрів рушійних пристроїв типу «гвинт в поворотній насадці» та «поворотна гвинтова колонка», що працюють у косому потоці.

Поворотна гвинтова колонка (ПГК) складається з гребного гвинта в напрямній насадці, що винесена за корпус апарата на кронштейні і обертається на 360° . Взаємодія гребного гвинта з напрямною насадкою зазвичай призводить до того, що більша частина упору, що розвивається ПГК, створюється роботою гребного гвинта, а менша його частина – за рахунок обтікання насадки потоком, що утворюється в результаті цієї роботи.

Дослідження проводилось для РКП з наступними параметрами. Model PN160-1, геометричні характеристики насадки: коефіцієнт раствору – 1.32; внутрішній розрахунковий діаметр – 161.6 мм; відносне подовження – 0.80; тип профілю – авіаційно-сегментний; характеристики гребного гвинта: діаметр – 160 мм; дискове відношення – 0,57; крокове відношення – 0.9; тип профілю – авіаційно-сегментний; діаметр маточини – 33.4мм), [8].

Встановлено, що для гребного гвинта в напрямній насадці властиво зростання упору РКП при відхиленні потоку від вісі ГГ, рис. 2.

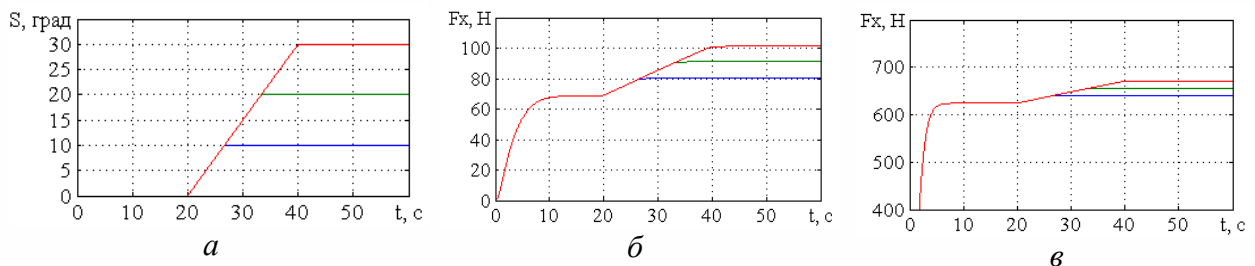


Рисунок 2 – Дослідження залежності упору РКП від кута набігання потоку:
 а – кут набігання потоку на РКП; б – сила упору РКП в косому потоці, $n = 30$ об/с;
 в – сила упору РКП в косому потоці, $n = 60$ об/с

З метою врахування даного відхилення в структурі регулятора швидкості руху АНПА, проведено детальне дослідження залежності упору гребного гвинта в напрямній насадці від кута набігання потоку в діапазоні кутів від 0 до 30 градусів при різних обертах гребного гвинта [9]. Засобами CFD моделювання отримано вибірку даних, що у векторній формі описує залежність упору РКП від кута та швидкості набігання потоку. Шляхом апроксимації даної вибірки отримуємо функцію від двох змінних $F_x = f(\delta^\circ, v)$, де F_x – загальна тяга рушійного пристрою.

В іншому експерименті проведено дослідження РКП з гребним гвинтом в поворотній насадці [8, 9, 10].

Поворотна напрямна насадка представляє собою підвішене на балері кільцеве крило, всередині якого розміщується гребний гвинт. Вісь балера насадки лежить в площині диска гребного гвинта, чим забезпечується вільний поворот насадки на кут, який зазвичай не перевершує $\delta = 30-35^\circ$.

На рис. 3 представлено дослідження впливу кута перекидання насадки на упор РКП при заданих обертах гребного гвинта. З представлених графіків видно, що зі збільшенням кута перекидання насадки (рис. 3, а) момент на валу гребного гвинта зростає (рис. 3, б), упор рушійного комплексу зменшується (рис. 3, в).

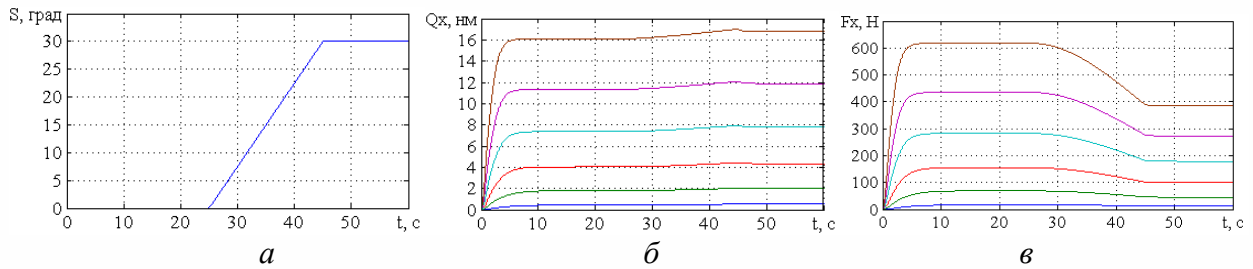


Рисунок 3 – Дослідження залежності упору РКП від кута перекладки насадки:
а – кут перекладки насадки; б – момент на валу ГГ; в – упор рушійного комплексу

Для визначення закону керування в регуляторі стабілізації швидкості руху АНПА проведено детальне дослідження залежності упору рушійного пристрою від кута перекладки насадки. Засобами CFD моделювання отримано вибірку даних, що у векторній формі описує залежність упору РКП від кута перекладки насадки та швидкості набігання потоку. Шляхом апроксимації даної вибірки отримуємо функцію від двох змінних $F_x = f(\delta^\circ, v)$.

За отриманими функціями визначено похибку сили упору від кута та швидкості потоку. Далі, регулятор швидкості визначає значення поправки керуючого сигналу відповідно до заданої швидкості та значення похибки.

Для побудови регулятора швидкості з уточненими значеннями упору РКП пропонується розробити структуру, рис. 4 на базі штучної нейронної мережі, оскільки для визначення похибки сили упору необхідно апроксимувати функцію від двох змінних.

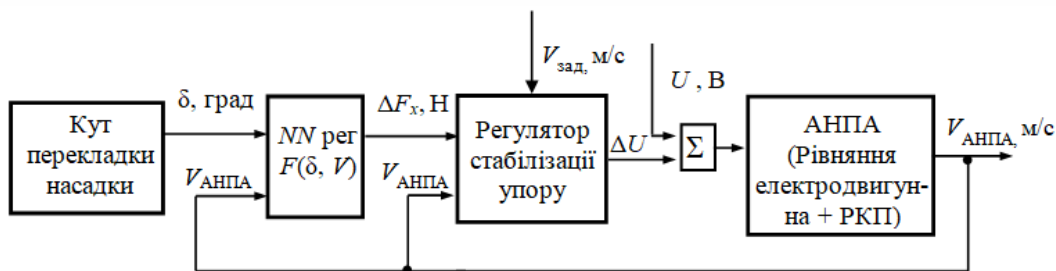


Рисунок 4 – Структура регулятора стабілізації упору РКП

В даному випадку нейронна мережа навчається за функцією, яка відповідає обраному типу РКП, які були досліджені в межах даної роботи [9].

Система автоматичного керування швидкістю руху АНПА складається з оптимального по швидкодії регулятора швидкості АНПА [11] та регулятора стабілізації упору РКП. На рисунку 5 представлено структурну схему САК підводного апарату з гребним гвинтом в поворотній насадці, яка містить наступні блоки:

- блок завдання необхідної швидкості та кута перекладки насадки;
- оптимальний регулятор швидкості;
- регулятор стабілізації тяги з ШНМ, що визначає похибку упору для корекції керуючого впливу;
- математичну модель АНПА;
- математичну модель РКП.

На вхід системи керування надходять дані про задану та поточну швидкість руху апарату а також про заданий та поточний кут перекладки насадки. Регулятор швидкості максимально швидко розганяє апарат до заданої оператором швидкості та підтримує її.

Коли надходить сигнал про зміну кута перекладки насадки регулятор стабілізації упору обчислює значення корекції керуючого впливу, рис. 6.

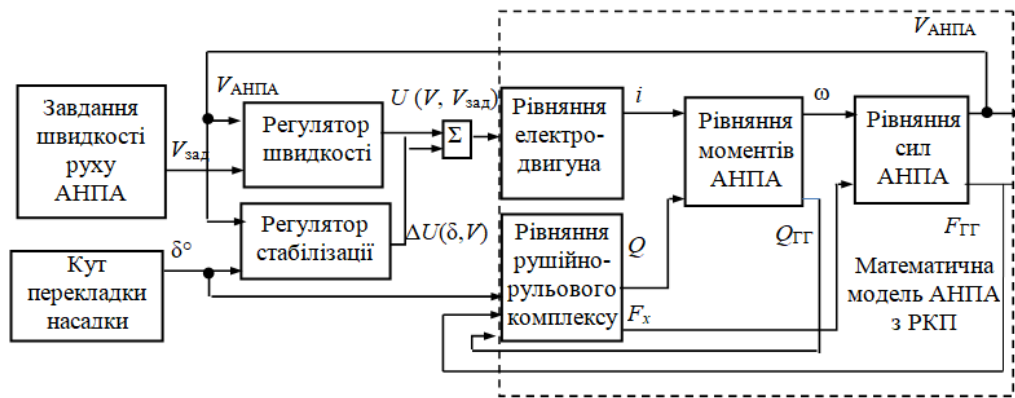


Рисунок 5 – Структурна схема системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА з стабілізацією упору РКП

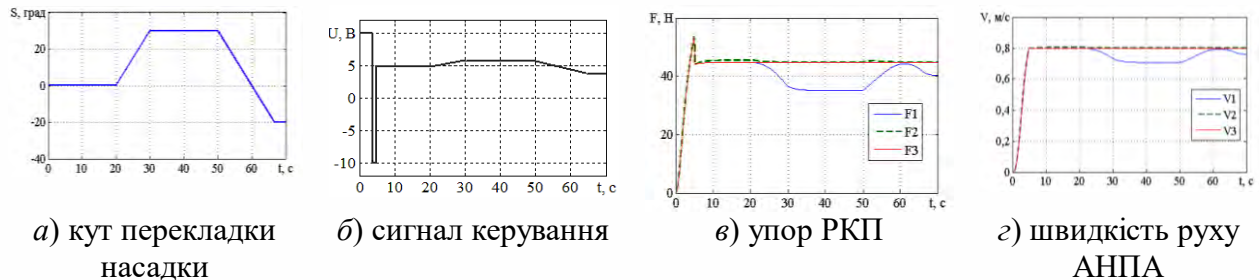


Рисунок 6 – Моделювання роботи регулятора швидкості з стабілізацією упору РКП

Спочатку підводний апарат починає розгін від нульової швидкості до 0,8 м/с (графік *a*, до 20-ї с.). Регулятор швидкості формує керуючий вплив який дозволяє досягти заданої швидкості максимально швидко (*б*, до 20-ї с.). При цьому маємо максимальне значення упору (*в*, до 20-ї с.). При повороті насадки на кут 30° , тяга зменшується і швидкість АНПА починають знижуватись (*в*, *г*, після 20-ї с.). Регулятор стабілізації тяги обчислює значення на яке необхідно збільшити керуючий вплив і компенсувати втрачений упор (*б*, після 20-ї с.). Далі на ділянці з 30 по 50 секунду апарат рухається з постійною швидкістю. Починаючи з 50 секунди кут змінюється на протилежний відносно вісі ГГ, $\delta = -20^\circ$. При цьому, при зменшенні кута регулятор автоматично перераховує значення сигналу керування (*б*), [9]. В таблиці 2 представлено результати моделювання для режимів роботи рушійного пристрою представлених на рис. 6.

Таблиця 2 – Результати моделювання роботи САК.

Кут перекладки насадки δ , град	Швидкість руху $V_{АНПА}$, м/с	Упор РКП F_x , Н	
		без регулятора	з регулятором
0°	0,8	44,8 (F3)	44,8 (F3)
30°		32,28 (F1)	43,90 (F2)
Різниця, %		27	2
0	3,0	71,01	71,01
30		32,8	69,4
Різниця, %		53,8	2,2

На графіках *в* та *г* представлено порівняльний аналіз упору РКП та швидкості руху АНПА при роботі САК з регулятором стабілізації упору і без регулятора:

F1 – упор РКП та швидкість руху АНПА без регулятора упору ($V_{АНПА} = 0,8$ м/с);

F2 – упор РКП та швидкість руху АНПА з регулятором упору;

F3 – упор РКП та швидкість руху АНПА при куті повороту насадки $\delta = 0$.

Як видно з графіків розроблений регулятор відмінно компенсує втрату упору РКП при повороті насадки. Перевага розробленого регулятора полягає в тому, що системі не потрібно відпрацьовувати похибку, що призводить до відхилення від траєкторії руху, представлена САК працює на попередження можливого відхилення, регулятор миттєво корегує значення сигналу керування [9].

Висновки. За результатами гідродинамічних досліджень функціонування гребного гвинта в напрямній та поворотній насадках при різних режимах роботи, сформовано базу даних, яка описує функціональну залежність упору рушійного комплексу від кута та швидкості потоку, що набігає. Таким чином, під час повороту насадки регулятор визначає уточнене значення керуючого сигналу, враховуючи похибку упору РКП.

Шляхом математичного моделювання встановлено, що відхилення упору РКП при куті перекладки насадки $\delta = 30^\circ$ залежить від швидкості потоку та може перевищувати 50 відсотків. Відхилення упору при роботі САК становить близько 2 відсотків. Таке незначне відхилення упору рушійного пристрою майже не впливає на швидкість руху АНПА. Розроблений регулятор дозволяє компенсувати втрату упору рушій, без відпрацювання помилки, що підвищує точність роботи системи автоматичного керування швидкості руху АНПА.

ЛІТЕРАТУРА

1. Блінцов, С. В. (2014). Теоретичні основи автоматичного керування автономними підводними апаратами. Миколаїв: НУК, с. 222.
2. EvoLogics rolls out new PingGuin AUV TECHNOLOGY September 10, 2020, by Adis Ajdin. Retrieved from: <https://www.offshore-energy.biz/evolitics-rolls-out-new-pingguin-auv/>
3. V. Blintsov, H. Hrudinina. (2019). Mathematical modeling of autonomous underwater vehicle propulsion and steering complex operation in oblique (beveled) water flow. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/9 (100), 10-28.
4. Stefano Gaggero, Diego Villa, Giorgio Tani and Michele Viviani. (2017) Propeller nozzles design using viscous codes and optimization algorithms. VII International Conference on Computational Methods in Marine Engineering Marine, 243-255.
5. Гофман, А. Д. (1988). Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Ленинград: Судостроение, 360 с.
6. Бражко А.С., Король Ю.М. Исследование взаимодействия движителей с корпусом подводного аппарата при маневрировании, Матеріали IV МНТК Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, Миколаїв, НУК, 2013, с.402-405.
7. Блінцов, В. С., & Грудініна, Г. С. (2018). Особливості керування стабілізованим рухом АНПА в умовах дії зовнішніх збурень. Інформаційні системи, механіка та керування, КПП 1, 122-137. DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804192018169624>
8. Блінцов В.С., Грудініна Г.С., Король Ю.М., Надточий А.В. (2021). Дослідження роботи рушійно-рульового комплексу підводного апарата в косому потоці води методами математичного моделювання. Підводна техніка і технологія, XI Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю, НУК, 13-27.
9. Грудініна, Г. С. (2021). Удосконалення системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА. Підводна техніка і технологія, XI Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю, НУК, 113-118.
10. Юдин, Ю. И. (2010). Математическое моделирование работы поворотной винтовой колонки бурового судна. Вестник МГТУ, том 13, №4/2. С. 845-851.
11. Блінцов, С. В., та Грудініна, Г. С. (2009). Застосування штучної нейронної мережі для побудови оптимального за швидкодією регулятора швидкості руху підводного апарата. ПАЕТЗ-2009, матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, 54-56.

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕЗЕКІПАЖНИМ МОРСЬКИМ ПРИРОДООХОРОННИМ КОМПЛЕКСОМ

Буруніна Ж.Ю.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна*

Вступ. Актуальність завдання створення навчально-наукової лабораторії «Робототехніка» обумовлена політикою України у напрямку розвитку роботизованих технологій (у рамках концепції «Індустрія 4.0») і необхідністю створення сучасного науково-методичного та науково-технічного забезпечення для підготовки фахівців (бакалаврів, магістрів, докторів філософії), які володіють сучасним знаннями і навичками проектування й експлуатації засобів загальнопромислової та спеціальної робототехніки і є конкурентоздатними на ринку праці.

Розглянемо деякі приклади навчально-наукових лабораторій робототехніки, що існують у зарубіжних університетах.

Лабораторія робототехніки, мехатроніки та автоматизації Університету Райерсона (Канада). Лабораторія робототехніки, мехатроніки та автоматизації (Robotics, Mechatronics, and Automation Laboratory, RMAL) була заснована в 1997 році і є активним підрозділом Університету Райерсона [1].

Це міждисциплінарна лабораторія, яка об'єднує людей та проекти, пов'язані з механікою, аерокосмічною, промисловою, біомедичною робототехнікою, електронною технікою, мехатронікою та комп'ютерними науками.

Постійні дослідження охоплюють як прикладні, так і фундаментальні науки.

Результати досліджень лабораторії варіюються від новаторських теоретичних робіт до прототипів нової техніки.

Команда промислових партнерів, викладачів, докторантів, аспірантів та студентів створює унікальні можливості для досягнення цілей освіти, досліджень та передачі технологій.

Результати роботи охоплюють широкий спектр тематики – від розробки основних інженерних методів і теоретичного аналізу роботизованих алгоритмів до тісної співпраці з існуючими компаніями та організаціями охорони здоров'я, до залучення до підприємницької діяльності.

Багато випускників лабораторії RMAL знайшли академічні та промислові посади в престижних установах та організаціях Канади та за її межами.

Лабораторія застосування інформатики та робототехніки в освіті та суспільстві університету Македонії (Греція). Дослідження лабораторії застосування інформатики та робототехніки в освіті та суспільстві (Laboratory of Informatics and Robotics Applications in Education and Society, LIRES) зосереджується на викладанні, дослідженнях та наукових потребах, пов'язаних із застосуванням інформатики та робототехніки в освіті та суспільстві [2].

Наукові напрями роботи лабораторії: взаємодія людини і робота; проектування роботів; розробка прототипів роботизованих сутностей для програм соціальної підтримки (Socially Assistive Robotics) на основі потреб зацікавлених сторін; освітня робототехніка; використання роботизованих технологій у розвитку навичок та стратегії; цифрова трансформація для освіти сталого розвитку тощо.

Лабораторія LIRES добре оснащений інфраструктурою, програмним забезпеченням та матеріалами для розробки роботизованих компонентів, роботизованих систем та технологій використання роботизованих систем.

Крім того, завдяки постійній участі в конкурентоспроможних програмах досліджень і розробок, що фінансуються ЄС і промисловими партнерами, LIRES має

чудові ноу-хау в широкому спектрі об'єктів, від проектування та впровадження роботизованих систем, соціального, педагогічного та промислового характеру.

У рамках програми STIMEY – Science Technology Innovation Mathematics Engineering for the Young (HORIZON2020 H2020-SEAC-2015-1, Номер угоди про грант: 709515) лабораторія LIRES спроектувала та розробила двох роботів соціальної взаємодії для підтримки студентів на об'єктах STEM.

Один із прототипів роботи LIRES зайняв третє місце на міжнародному конкурсі IDA2018 (Лос-Анджелес) у категорії освітніх технологій.

Робот Daisy, розроблений для освітніх програм для людей із спектром аутизму з метою набуття соціальних навичок, отримав нагороду TELLUS 2015 за інноваційні технології в освіті (Париж 2015).

У лабораторії є:

- 3 гуманоїдних роботи NAO Aldebaran, 2 роботи Pepper Softbank
- робот соціальної підтримки студента в STEM: робот STIMEY
- роботи соціальної підтримки для людей із спектром аутизму
- робот соціальної взаємодії: Плео робот Динозавр
- 3D-принтери для друку роботизованих механічних деталей
- промислова рука свободи 6 ступенів: Racer 3 COMAU.
- набір тренувальної робототехніки: EV3
- набір робототехніки для автоматизації та навчання Arduino

Лабораторія робототехніки університету Любляни (Словенія). Лабораторія робототехніки університету Любляни (Laboratory of Robotics Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana [3] заснована у 1986 році.

Навчання ведуть професори та співробітники лабораторії, міжнародно визнані в галузях промислових, гуманоїдних та мобільних роботів, автоматизації та керування, комп'ютерного зору, електроніки та вимірювань.

Актуальність та досконалість виконавців забезпечується найкращим обладнанням, яке використовувалося під час навчання.

Вивчення робототехніки характеризується регулярною роботою протягом семестру, хорошою співпрацею з асистентами та професорами, а отже, відповідними знаннями (https://robolab.si/wp-content/uploads/2020/06/Podiplomski-Robotika_v2.pdf, https://robolab.si/wp-content/uploads/2020/06/Podiplomski-Robotika_v2.pdf).

Вивчення робототехніки дає змогу набутти компетенцій, необхідних для успішної кар'єри чи роботи в промисловості.

Докторанти лабораторії також є викладачами відомих університетів Європи.

Метою створення навчально-наукової лабораторії «Робототехніка» є розвиток академічної складової процесу підготовки фахівців за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та як структурного підрозділу науково-дослідної частини університету для виконання науково-дослідних, дослідно-конструкторських та виробничих робіт зі створення та застосування засобів робототехніки загальнопромислового та спеціального призначення.

Виходячи з мети проекту вбачається доцільною наступна узагальнена структура технічного забезпечення проекту, яка містить інформацію про стаціонарні та мобільні роботи, що працюють в різних середовищах (рис. 1).

Розглянемо доцільність та можливість оснащення навчально-наукової лабораторії робототехніки вказаними видами технічного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- розробити концепцію діяльності університету за навчально-науковим напрямком «Робототехніка», яка б включала освітню, наукову та виробничу складові;
- визначити стейкхолдерів проекту;
- виконати аналіз досяжності проекту;

- виконати запуск проекту.

Розглянемо змістовну частину та основні підходи до розв'язку сформульованих вище задач.

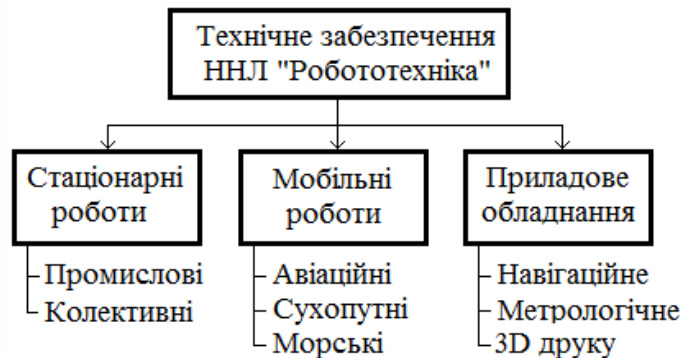


Рисунок 1 – Узагальнена структура технічного забезпечення навчально-наукової лабораторії «Робототехніка»

1). Загальні вимоги до концепції діяльності університету за навчально-науковим напрямком «Робототехніка».

Концепція діяльності університету за навчально-науковим напрямком «Робототехніка» має містити:

- заходи щодо започаткування освітньо-наукової програми «Робототехніка», де необхідно сформулювати вимоги до лабораторно-технічного забезпечення навчального процесу;

- заходи щодо формування прикладних наукових завдань з розробки нових роботизованих технологій загальнопромислового і спеціального призначення та створення нових засобів робототехніки в інтересах вітчизняних та зарубіжних організацій;

- заходи щодо аналізу ринку потенційних споживачів роботизованих технологій та формування рекламно-інформаційного забезпечення для вітчизняних та зарубіжних організацій щодо спроможностей університету у напрямку розробки і впровадження роботизованих технологій.

2) Стейкхолдери проекту створення лабораторії.

Стейкхолдери – це організації та приватні особи, які зацікавлені у реалізації проекту «Навчально-науково-виробнича лабораторія робототехніки» та які можуть бути фінансовими, рекламно-інформаційними спонсорами проекту та/або споживачами кадрів, яких готує університет за напрямком «Робототехніка».

Попередньо до основних стейкхолдерів проекту можна віднести:

- підприємства та організації Асоціації підприємств промислової автоматизації України;

- Адміністрацію морських портів України;

- організації Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України;

- наукові установи Національної академії наук України;

- спеціалізовані підрозділи Державної служби з надзвичайних ситуацій України,

- ФОП, приватні підприємці.

Організаційними формами співпраці університету з зазначеними організаціями можуть бути:

- утворення «Української асоціації з робототехніки»;

- організація наукового парку «Робототехніка» на базі університету, співорганізаторами якого можуть бути організації-стейкхолдери.

3) Аналіз досяжності мети проекту створення лабораторії.

Для досягнення мети проекту необхідні наступні види забезпечення (ресурси проекту):

- кадрове забезпечення проекту (базовий склад учасників проекту: менеджер проекту та менеджери за напрямками «Промислова робототехніка», «Морська робототехніка», «Авіаційна робототехніка»)

- технічне забезпечення проекту;
- програмне забезпечення проекту;
- навчально-методичне забезпечення проекту;
- фінансове забезпечення проекту.

4) Прийняття рішення про старт проекту створення лабораторії.

Рішення про старт проекту приймає ректор (вчена рада) університету, у якому визначаються:

- менеджер проекту;
- локація проекту (місце для розгортання);
- заходи щодо забезпечення проекту необхідними ресурсами.

Висновок: виконано огляд і аналіз ефективності сучасних лабораторій робототехніки в зарубіжних технічних університетах та з позицій проектного менеджменту сформульовано загальні вимоги до концепції діяльності університету за навчально-науковим напрямком «Робототехніка».

Література

1. Robotics, Mechatronics, and Automation Laboratory (RMAL). <https://www.ryerson.ca/rmal/>
2. Laboratory of Informatics and Robotics Applications in Education and Society/ <https://www.uom.gr/en/esp/laboratory-of-informatics-and-robotics-applications-in-education-and-society>
3. The first laboratory of Robotics in Slovenia. <https://robofab.si/>

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМ БЕЗЕКІПАЖНИМ ПРИРОДООХОРОННИМ КОМПЛЕКСОМ

Буссов Д.Є.

*Державне підприємство «Дослідно-проектний центр кораблебудування»,
Україна*

Вступ. Дослідженням, пов'язаним зі створенням безекіпажних надводних суден (БНС) природоохоронного призначення, присвячено значну кількість наукових публікацій [1-3]. Науковці вбачають великі перспективи щодо використання таких суден для постійного моніторингу морських акваторій та швидкої екологічної оцінки стану акваторій у складних гідрометеорологічних умовах. Для України створення таких суден є новою та актуальною прикладною науковою задачею, розв'язок якої доцільно розпочинати з розробки концепції (концепт-дизайну) судна, тобто, з розробки комплексу досліджень для створення документації, яка описувала б необхідні вимоги для будівництва і гарантувала відповідність судна потребам внутрішнього ринку.

БНС, оснащене відповідною вимірювальною та пробовідбірною апаратурою, а також у випадку розміщення на його борту автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА) та безпілотних літальних апаратів (БЛА), утворює морський безекіпажний природоохоронний комплекс (МБПК).

До переваг МБПК можна віднести:

- широкий спектр технічних засобів для моніторингу, ідентифікації та нейтралізації екологічної катастрофи;
 - великий запас хімічних, фізичних і енергетичних видаткових матеріалів, необхідний для локалізації або нейтралізації тої або іншої екологічної небезпеки;
 - необхідна кількість персоналу для використання всього спектра наявних технічних засобів;
 - можливість установки потужних систем зв'язку, передачі даних і спостереження.
- Однією з центральних складових МБПК є система автоматичного керування (САК). Тому створення концепції побудови САК МБПК є актуальною прикладною науковою задачею.

З позицій системного підходу [4] пропонуються наступні основні складові процесу прийняття концептуальних рішень щодо САК МБПК:

- за функціональним критерієм – визначення базових режимів F_B роботи САК, виходячи з призначення МБПК та його режимів роботи, визначення вимог до рівнів автоматизації F_A цих режимів та вимог до обслуговування САК F_O ; вказану множину робіт позначимо через M_F ;
- за конструктивним критерієм – визначення основних вимог до конструкції САК, включаючи масогабаритні характеристики її складових D_{WZ} , вимог до конструкційних матеріалів D_{CM} та вимог до рівнів їх захисту D_{PL} від впливу зовнішніх впливів та фізичних полів D_{PF} ; вказану множину робіт позначимо через M_D ;
- за енергетичним критерієм – визначення вимог до номіналів E_{SV} та якості енергоспоживання E_{QV} , а також до теплового виділення P_{HS} споживачів енергії; вказану множину робіт позначимо через M_E ;
- за інформаційним критерієм – визначення вимог до системи навігації I_N МБПК, до систем інформаційного обміну між бортовим обладнанням I_{EE} та інформаційного обміну між МБПК та береговим центром керування I_{IE} ; вказану множину робіт позначимо через M_I .

Тоді генеральну множину $M_{САК}$ основних складових процесу прийняття концептуальних рішень щодо САК МБПК можна представити у наступному вигляді:

$$M_{CAK} = \{M_F; M_D; M_E; M_I\}, \quad (1)$$

$$\text{де: } M_F = \{F_B; F_A; F_O\}, \quad (2)$$

$$M_D = \{D_{WZ}; D_{CM}; D_{PL}; D_{PF}\}, \quad (3)$$

$$M_E = \{E_{SV}; P_{HS}\}, \quad (4)$$

$$M_I = \{I_N; I_{EE}; I_{IE}\}, \quad (5)$$

Таким чином, виходячи з відношень (1)-(5), очевидно, що проектування САК МПРК – це створення принципово нової системи з людино-машинним інтерфейсом.

Розглянемо, які завдання повинне вирішувати МБПК:

- інспекція та контроль належного виконання правил екологічно безпечної експлуатації морських акваторій;

- ідентифікація потенційно небезпечних ситуацій на морі;

- моніторинг зон техногенних катастроф;

- виконання операцій по ліквідації техногенних катастроф.

Застосування різних типів вимірювальної та пробовідбірної апаратури, а також морських безпілотників, дозволить вирішувати наступні завдання:

- реалізувати принцип надмірності інформації для одержання достовірної картини екологічної обстановки на морській акваторії;

- мінімізувати або взагалі виключити знаходження судна з екіпажем у небезпечній зоні, виключивши, таким чином, ризики для життя і здоров'я членів екіпажу МБПК.

До основних джерел інформації для МБПК мають бути безпілотні апарати різних типів, керування якими інтегроване в єдину систему.

Застосування такої системи дозволить отримати наступні переваги:

- робити комплексну обробку отриманої інформації;

- виконувати обмін даними береговими центрами керування;

- дистанційно виконувати керування безпілотними апаратами різних типів для моніторингу зон екологічного лиха та виконувати необхідні роботи для нейтралізації погрози;

- управляти власними технічними засобами судна для спостереження за навколишнім оточенням;

- координувати дії інших суден при груповому використанні МБПК.

Морський безекіпажний природоохоронний комплекс як об'єкт керування повинен складатися з наступних основних компонентів:

- безекіпажного судна-носія природоохоронної апаратури;

- підсистеми природоохоронних вимірювань параметрів водного навколишнього середовища;

- підсистеми для виконання дистанційно керованого або автоматичного відбору проб води й повітря;

- підсистем застосування АНПА та БЛА.

Зупинимося більш докладно на кожному з компонентів.

Судно-носій має забезпечувати рішення наступних завдань:

а) доставку природоохоронного обладнання до місця застосування;

б) планування місії МБПК з урахуванням наявних технічних засобів;

в) спуск/зліт і підйом/посадку безекіпажних апаратів на борт судна;

г) забезпечення застосування АНПА за призначенням;

д) перезарядження/дозаправлення, заміну застосовуваних безекіпажних апаратів;

е) керування безекіпажними апаратами у реальному часі;

ж) комплексну обробку отриманої інформації, оцінку ефективності застосованих засобів і методів усунення катастрофи;

з) керування іншими суднами, що беруть участь у груповій природоохоронній операції;

і) обмін інформацією з береговими центрами керування.

Керування всім наявними безекіпажними апаратами (надводними, підводними, літаючими) повинно забезпечувати їх просторовий рух, прийом інформації в реальному масштабі часу, підхід до судна-носія для забезпечення підйому на борт або посадки на ЗПП.

Рішення завдання комплексної обробки отриманої інформації, оцінки ефективності застосованих засобів і методів усунення катастрофи є одним з найбільш складних, тому що в процесі його рішення повинне бути виконане об'єднання інформації з різних джерел, отриманої в різні моменти часу. Результати обробки повинні бути об'єднані з географічною картою даного району моря. На підставі такої комплексної обробки має будуватися висновок щодо оцінки ефективності виконання місії й прогноз подальшого розвитку ситуації.

Інформація про поточну обстановку в районі екологічного моніторингу або потенційно небезпечної ситуації повинна передаватися в наземні центри керування. Для цього на судні повинна бути передбачена система обміну даними. На сьогоднішній момент, необхідну пропускну здатність і дальність дії забезпечують супутникові системи зв'язку.

Розглянемо тепер другий компонент МБПК - безекіпажні засоби морської робототехніки.

Розвиток морської робототехніки дозволяє на сьогоднішній день виконувати завдання моніторингу як морської поверхні, так і підводної напівсфери без залучення людини в якості безпосереднього виконавця. Такий підхід дозволяє одержати наступні переваги при створенні МБПК:

- підвищити безпеку операцій моніторингу, доставки засобі нейтралізації та нейтралізації наслідків техногенних катастроф;
- знизити вартість проведення операцій.

Розглянемо склад безекіпажних апаратів, що повинен бути в складі МБПК.

Для моніторингу й планування подальших дій МБПК повинен виконати наступні завдання:

- моніторинг поверхні морської акваторії;
- моніторинг ділянок морського дна, де знаходяться затонулі об'єкти;
- моніторинг підводної частини морських об'єктів, що терплять лихо;
- забір проб води з різних глибин;
- застосування хімічних та інших засобів ліквідації небезпеки на акваторії.

Для виконання перерахованих вище завдань до складу МБПК повинні бути включені наступні типи безекіпажних апаратів-роботів:

- автономні підводні апарати;
- дистанційно керовані по кабелю підводні апарати;
- надводні апарати, керовані по радіоканалу;
- літаючі безпілотні апарати.

Для рішення завдань доставки необхідних вантажів або іншого встаткування, а також виконання дій по їх застосування для ліквідації екологічного лиха доцільно використовувати всі перераховані вище типи дистанційно керованих апаратів, за умови, що їхня конструкція буде передбачати можливості транспортування й застосування корисного навантаження.

Для успішного застосування широкої номенклатури апаратів доцільним є застосування єдиної системи керування й обробки інформації. Подібні системи досить широко застосовуються в інших галузях робототехніки для керування різними технічними засобами з одночасною обробкою отриманої інформації. Такі системи будуються по мережецентричному принципу.

Адаптуючи даний принцип побудови системи керування до МБПК, доцільно делегувати такій комплексній системі керування наступні функції:

- керування всіма безекіпажними апаратами;

- обробку отриманої інформації, з ототожненням і об'єднанням у єдину картину обстановки;
- контроль навігаційної обстановки;
- вироблення рекомендацій з маневрування під час виконання моніторингу й/або нейтралізації небезпечних ситуацій;
- формування пакетів інформації для передачі на берегові центри керування.

Таким чином, застосування комплексної автоматизованої системи керування дозволить наступне:

- централізувати процеси керування й обробки;
- прискорити процес одержання загальної картини морської обстановки;
- мінімізувати апаратну частину систем керування й обробки;
- прискорити процес інформаційного обміну з береговими центрами керування.

Висновок. У результаті виконаної роботи отримано концепцію та загальні вимоги до системи керування морським безкіпажним природоохоронним комплексом, який містить природоохоронне безкіпажне судно-носії та розташовані на його борту підсистеми природоохоронних вимірювань та пробовідбору зразків води та повітря, підводні автономні та безпілотні літальні апарати.

Література

1. ECUVE (Environmental Control with Unmanned Vessels). <http://utek.es/ecuve-environmental-control-with-unmanned-vessels/>
2. Unmanned Surface Vessels for Rapid Environmental Assessment in Challenging Inland Waterways and Tidal Environments. <https://ore.catapult.org.uk/stories/unmanned-surface-vessels/>
3. The Environmental Impacts of the “Maritime Autonomous Surface Ships” (MASS). <http://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/download/1803/25174>
4. Blintsov, V., & Klochkov, O. (2019). Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. EUREKA : Physics and Engineering, 2, 43-51. doi:10.21303/2461-4262.2019.00878

УДК 629.05

ОСОБЛИВОСТІ БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНОГО СУДНА ЯК ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Надточий А.В.

*к.т.н., доцент Херсонського навчально-наукового інституту, Національний
університет кораблебудування ім. адм. Макарова*

Вступ. Безекіпажні надводні судна (БНС) являють собою об'єкти морської робототехніки, які функціонують під керуванням систем автоматичного керування (САК) різного призначення та рівня складності.

Автоматичне керування БНС являє собою складну прикладну наукову задачу, до основних особливостей синтезу якої можна віднести:

- суттєву нелінійність БНС як об'єкту керування, обумовлену нелінійним характером його виконавчих механізмів та нелінійним характером обтікання корпусу судна як твердого тіла, яке рухається у воді;
- невизначеність зовнішніх збурень, які діють на корпус БНС (вітро-хвильових збурень та збурень, породжуваних течіями).

Наукові розробки, пов'язані з синтезом та дослідженням САК БНС, наразі проводяться у більшості провідних морських країн світу, оскільки такі судна утворюють серйозну альтернативу традиційному водному транспорту, у тому числі й на внутрішніх водних шляхах [164, 165]. Одним з перспективних застосувань БНС вбачається їх застосування як носіїв одиночних автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА) та групи АНПА, які виконують спільну підводну місію [166]. Останній варіант застосування БНС є найбільш складним з позицій автоматичного керування, оскільки він передбачає автоматизацію не тільки процесів керування рухом такого судна, а й автоматизацію технологічних процесів застосування АНПА як корисного вантажу БНС.

Як об'єкти автоматизації БНС утворюють особливий клас морських рухомих об'єктів, для яких характерним є рух з високою швидкістю (до 45 вузлів), часте маневрування зі значними прискореннями [167]. Важливо відзначити, що функціонування розглянутого класу суден часто здійснюється в районах з обмеженими навігаційними умовами і вимагає великої точності утримання на заданій траєкторії.

Виходячи з цього, автоматизація керування БНС як носія групи АНПА, у залежності від вимог практики може бути реалізована за наступними рівнями:

- рівень телекерування LC_T (дистанційне ручне керування людиною-оператором процесів руху БНС та його бортовим технологічним обладнанням з берегового чи мобільного ПКК);
- рівень автоматизованого керування LC_{AT} (за участю людини-оператора, коли стабілізація курсу, траєкторії та швидкості судна виконуються автоматично, але під контролем людини-оператора з можливістю оперативного втручання у критичних ситуаціях; при цьому, керування бортовим технологічним обладнанням БНС виконується людиною-оператором у режимі телекерування);
- рівень автоматичного керування LC_T (забезпечує повністю автоматичне керування БНС в усіх режимах його функціонування, включаючи електронну навігацію, зв'язок з ЦКК, керування бортовим технологічним обладнанням та загальносудновими механізмами; телекерування залишається як форма контролю безпеки функціонування БНС);
- рівень інтелектуального керування LC_I (ґрунтується на застосуванні теорії штучного інтелекту і забезпечує здатність до «розуміння» і навчання САК щодо БНС як

об'єкта керування, збурень зовнішнього середовища та умов роботи [168]; вказані властивості дають змогу реалізувати високоточні САК траєкторним рухом технічних систем, коли їх математична модель невідома чи недостовірна.

Таким чином, множина основних рівнів автоматизації БНС може бути представлена наступною залежністю:

$$LC_T = \{LC_T; LC_{AT}; LC_T; LC_B\}. \quad (1)$$

Крім того, САК БНС повинна відповідати наступним вимогам [167]:

- забезпечувати безперервність і завадозахист виробленню навігаційних параметрів, а також забезпечувати точність утримання на траєкторії в межах 2-5 метрів;
- склад САК повинен бути компактним, тобто містити мінімальну необхідну кількість приладів;
- прилади системи повинні мати малі масогабаритні характеристики, низьку вартість та низьке енергоспоживання;
- САК повинна забезпечувати ефективне функціонування БНС в умовах хвилювання моря до 3-х балів.

Розглянемо тепер основні режими роботи БНС як носія групи БНС.

Виходячи з основних завдань експлуатації БНС сформулюємо основні режими його функціонування при повній автоматизації:

- режим прямолінійного руху зі стабілізацією курсу φ та швидкості v ;
- режим руху по заданій траєкторії зі стабілізацією швидкості руху v ;
- режим маршрутної точки, коли САК БНС прагне довести судно до заданої маршрутної точки, постійно оновлюючи свій курс, що змінюється внаслідок дії зовнішніх збурень;
- режим циркуляції з заданими значеннями радіусу циркуляції r_C та кутової швидкості ω ;
- режим позиціонування у точці (для спуску групи АНПА перед виконанням підводної місії та для прийому їх на борт після завершення підводної місії);
- режим дрейфу на акваторії, де виконується підводна місія.

Вказані режими реалізуються за допомогою рушійно-стернового комплексу (РСК) судна, який зазвичай, складається з гребного гвинта у насадці, що приводиться в рух електричним чи тепловим двигуном. Іншими варіантами побудови РСК є водометний рушій, вектор тяги якого регулюється за допомогою сопла, або спеціальне вітрило (БНС-вітрильник) [169].

Крім завдань автоматизації керування рухом БНС, актуальними є також завдання автоматизованого чи автоматичного керування його палубними механізмами – спуско-піднімальними пристроями (СПП) для групи АНПА.

Таким чином, забезпечення функціонування БНС відноситься до завдань комплексної автоматизації нелінійного морського рухомого об'єкта, що працює в умовах невизначеності характеристик зовнішнього середовища (ЗС) і нестационарності власних параметрів. Успішний розв'язок такого завдання можливий лише з широким застосуванням сучасних здобутків у галузі штучного інтелекту та математичного моделювання нелінійних динамічних об'єктів.

Узагальнена функціональна структура схема системи автоматичного керування таким БНС показана на рис. 1 [170].

Три верхні рівні приймають і обробляють завдання від зовнішнього (берегового чи мобільного) центру керування та контролю (ЦКК) з використанням інформації від системи сенсорів БНС $S_{БНС}$ та системи сенсорів $S_{ЗС}$ зовнішнього середовища. Вказані системи сенсорів генерують інформацію про поточні параметри та технічний стан механізмів БНС і параметри морського середовища.

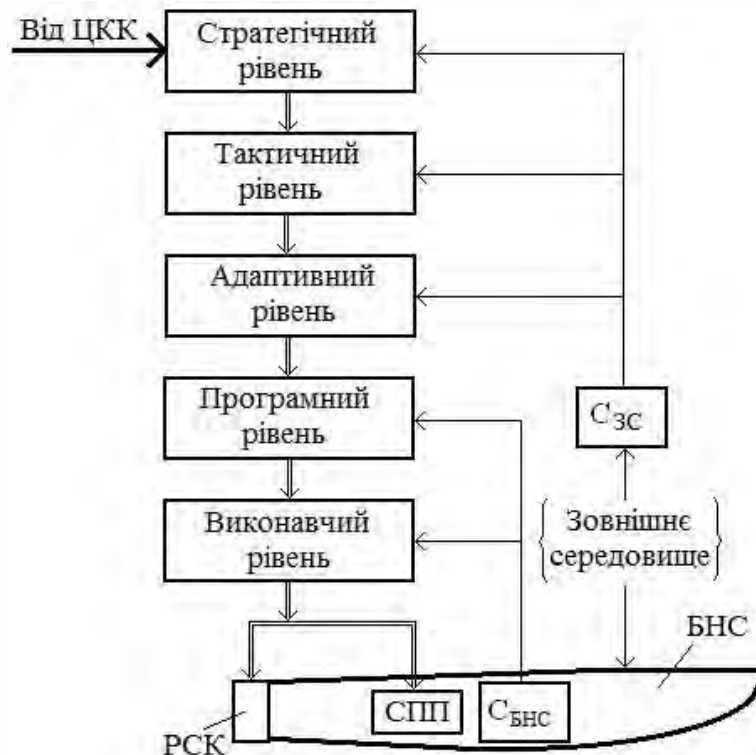


Рисунок 1 – Узагальнена функціональна схема системи автоматичного керування БНС

Таким чином, верхній рівень – це рівень ухвалення рішення або допомоги людині в постановці завдання та у первинній постановці цілей функціонування об'єктів керування. У найближчій перспективі найбільш важливі функції цього рівня залишаються за людиною. У перспективі, як вважають науковці, розв'язок завдань цього рівня може бути виконане без участі людини за допомогою "сильного" штучного інтелекту.

Два нижніх рівні генерують керуючі команди для виконавчих механізмів БНС – його РСК і КВ. Для них джерелами команд є сигнали від верхніх рівнів керування, а також сигнали системи контролю за "внутрішніми" змінними - станом виконавчих механізмів БНС.

При цьому стратегічний рівень аналізує завдання, що надійшло від ЦКК, і планує загальне функціонування БНС для його виконання з урахуванням параметрів зовнішнього середовища.

Тактичний рівень управляє реалізацією стратегічного плану – розробляє траєкторію просторового переміщення, формує черговість операцій (рухів) у відповідності зі стратегією функціонування БНС та з урахуванням зовнішніх збурень.

Адаптивний рівень коригує рішення тактичного рівня з урахуванням фактичного стану зовнішнього середовища, здійснює пошук оптимальних управлінських рішень у рамках обраної тактики виконання завдання, що надійшло від ЦКК.

Програмний рівень розглянутої системи керування реалізує окремі типові операції – елементарні переміщення БНС та роботи КВ. Це досягається застосуванням заздалегідь інсталюваних керуючих програм, які здійснюють, у загальному випадку, групове керування виконавчими механізмами БНС та його корисного вантажу.

На цьому рівні виконується аналіз інформації про середовище та умов функціонування БНС, формування послідовності базових операцій та контроль їх виконання для рішення поставленої верхнім рівнем завдання (вибір шляхів руху, траєкторій руху виконавчих органів та ін.).

Виконавчий рівень реалізує керування окремими виконавчими механізмами у режимах стабілізації руху, роботи з КВ, збору інформації про зовнішнє середовище та ін.

Поза залежністю від границь рівнів системи керування при побудові БНС необхідна інтеграція всіх рівнів керування, зокрема, використання єдиного механізму

обміну даними й програмування всіх рівнів (кроссплатформності).

Функціонування БНС передбачає наступні режими автоматичного керування [170, 171]:

- автоматичне діагностування R_{D1} механізмів, вузлів і систем БНС перед початком виконання місії;
- автоматичний вихід R_{B1} з бази до початкової точки маршруту заданої місії;
- автоматичний рух БНС по заданій траєкторії R_{T1} під час переходу у робочу зону акваторії;
- автоматичне маневрування R_M у робочій зоні акваторії та/чи автоматична стабілізація R_S у заданій точці заданої акваторії;
- автоматичний рух БНС R_{T2} по траєкторії повернення у кінцеву точку маршруту місії;
- автоматичне повернення R_{B2} до бази;
- автоматичне діагностування R_{D2} механізмів, вузлів і систем БНС після завершення місії.

Таким чином, множина $R_{БНС}$ основних режимів функціонування БНС містить наступні елементи:

$$R_{БНС} = \{R_{D1}; R_{B1}; R_{T1}; R_M; R_S; R_{T2}; R_{B2}; R_{D2}\}. \quad (2)$$

Очевидно, що для всіх основних режимів роботи БНС, крім режимів R_{D1} та R_{D2} , характерним є наявність дії зовнішніх збурень \vec{F}_{FP} у вигляді векторів сил вітру \vec{F}_{Wn} , хвиль \vec{F}_{Wv} та течії \vec{F}_V .

До головних задач САК БНС слід віднести наступні задачі:

- задача безпечної навігації БНС у режимах руху $\{R_{B1}; R_{T1}; R_M; R_S; R_{T2}; R_{B2}\}$; тут має передбачатись, крім дії зовнішніх збурень \vec{F}_{FP} , наявність навігаційних перешкод у вигляді інших плавзасобів;
- задача автоматичного керування головною силовою установкою (ГСУ) БНС (дизелем чи іншим джерелом механічної чи електричної енергії БНС);
- задача автоматичного керування рушійно-стерновим комплексом (РСК) БНС;
- задача автоматичного керування допоміжними судновими машинами і механізмами (ДСММ) БНС;
- задача автоматичного керування корисним вантажем (КВ) БНС;
- задача автоматичної діагностики (контролю працездатності) обладнання (ДО) БНС (режими R_{D1} та R_{D2}).

Очевидно, що такий складний перелік вимог, що висуваються до САК БНС, можливо задовольнити лише шляхом застосування сучасних принципів і технологій побудови систем керування.

Більшістю дослідників визнають необхідність використання багаторівневої (ієрархічної) структури побудови інтелектуальних систем керування рухомими об'єктами. Успішне рішення завдань керування такими об'єктами можливо при побудові ефективного керування на кожному з рівнів і не менш ефективному їх комплексуванні.

Розглянемо особливості побудови інтелектуальних САК БНС, які ґрунтуються на принципах багаторівневої структури згідно рис. 1.

Сам розподіл на рівні є досить умовним і в значній мірі залежить від конкретної реалізації БНС. У якості основної класифікаційної ознаки при виділенні рівнів керування БНС використовують властивості об'єктів (складових БНС), керування якими реалізується на відповідному рівні.

Тоді узагальнена структури САК рухом БНС в умовах дії зовнішніх збурень буде мати вигляд, показаний на рис. 2.

Розглянемо основні принципи роботи запропонованої інтелектуальної САК.

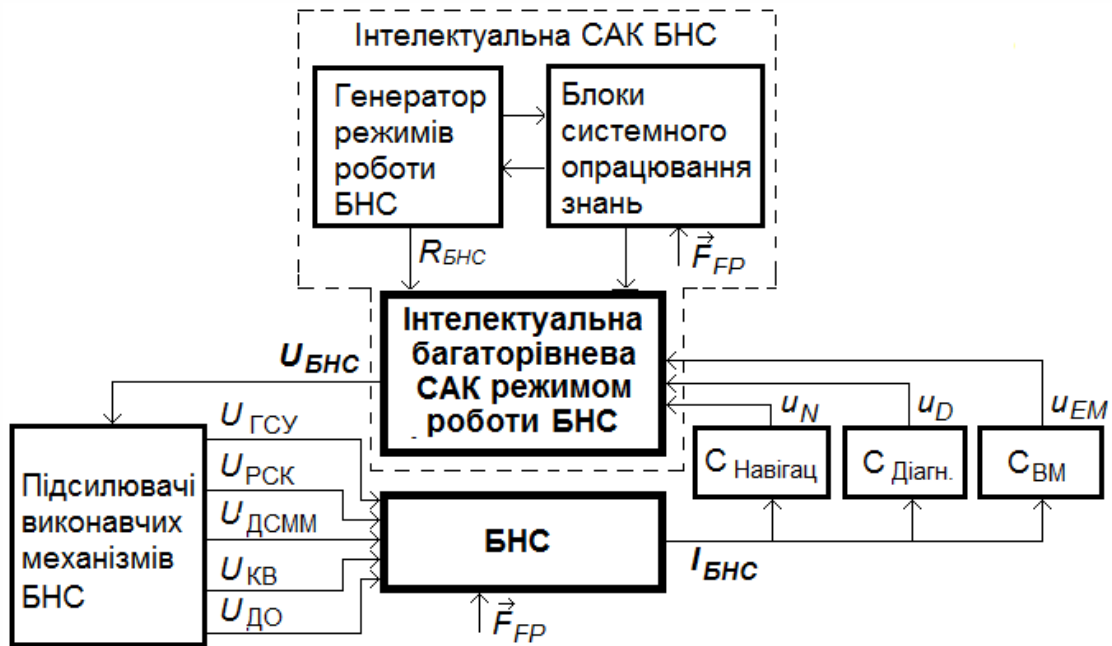


Рисунок 2 – Узагальнена структурна схема інтелектуальної САК рухом БНС

Генератор режимів роботи БНС – це програмний пристрій чи радіоканал, через який задається поточний режим роботи БНС згідно множині (2).

Блоки системного опрацювання знань призначені для аналізу зовнішньої обстановки (вектору \vec{F}_{FP}) на основі використання наступних інформаційних технологій – експертних систем, штучних нейронних мереж, нечіткої логіки, еволюційних методів і генетичних алгоритмів.

В основу концепції інтелектуальності, зазвичай, покладено:

- уміння системи працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка);
- властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

САК режимом роботи БНС реалізує заданий режим роботи судна, у результаті чого формується множина $U_{БНС}$ сигналів керування виконавчими механізмами БНС. Після підсилення генерованих САК сигналів керування ГСУ, РСК, ДСММ, КВ та ДО (відповідно, сигнали $U_{ГСУ}$, $U_{РСК}$, $U_{ДСММ}$, $U_{КВ}$ та $U_{ДО}$) вони надходять до відповідних виконавчих механізмів БНС і, таким чином, забезпечують виконання заданого йому режиму функціонування.

Вихідними сигналами БНС є множина інформаційних сигналів $I_{БНС}$, які характеризують поточний стан БНС як об'єкту керування.

Важливою складовою САК є система сенсорів, яка складається з трьох груп:

- навігаційних сенсорів $S_{Навігац.}$, які забезпечують САК інформацією про поточні навігаційні характеристики БНС (курс, швидкість, географічні координати, а також їх похідні);
- діагностичні сенсори $S_{Діагн.}$, які дають інформацію про технічний стан виконавчих вузлів, механізмів і систем БНС;
- сенсори $S_{ВМ}$ виконавчих механізмів БНС, які утворюють зворотній зв'язок для САК по керованим величинам БНС як об'єкту керування.

Множина сигналів сенсорів u_N , u_D та u_{EM} утворюють необхідні канали зворотного зв'язку, необхідного для ефективної роботи САК в основних режимів роботи згідно (2).

Таким чином, запропонована САК БНС реалізує два узагальнені принципи

інтелектуального керування:

- керування на основі аналізу зовнішніх даних ситуацій та подій (ситуаційне керування з урахуванням впливів \vec{F}_{FP});

- використання сучасних інформаційних технологій для обробки даних та знань.

Висновки.

Наведені вище узагальнена функціональна схема та узагальнена структурна схема інтелектуальної САК рухом БНС враховують основні особливості БНС як об'єкту автоматичного керування і можуть слугувати основою для подальшого синтезу системи автоматичного керування БНС як носія групи АНПА в умовах невизначеності зовнішніх збурень.

Список використаної літератури

1. Wang Guo, Song Wang, Wenqiang Dun. The Design of a Control System for an Unmanned Surface Vehicle. The Open Automation and Control Systems Journal, 2015, 7, 150-156 <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOAUTOJ/TOAUTOJ-7-150.pdf>
2. Paweł Burdziakowski, Andrzej Stateczny. (2019) Universal Autonomous Control and Management System for Multipurpose Unmanned Surface Vessel. Polish Maritime Research, 26(101). 30-39 pages. DOI:10.2478/pomr-2019-0004
3. Hyunjoon Cho, Sang-Ki Jeong, Dae-Hyeong Ji, Tran Ngoc Huy. (2020). Study on Control System of Integrated Unmanned Surface Vehicle and Underwater Vehicle. Journals Sensors Volume, 20. Issue 9. 22 pages. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/9/2633>
4. Блинцов В.С., Фан Ван Ван. Задачи совершенствования информационно-управляющих систем для малоразмерных скоростных судов // 36. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – № 7(385). – С. 140-146.
5. Дакі О.А., Олізаренко С.А., Якусевич Ю.Г., Дорофєєва З.Я., Тришин В.В. Інформаційна технологія розробки бази знань інтелектуальної системи автоматичного управління рухом судна. *Системи озброєння і військова техніка*. 2021. № 3(67). С. 52-60. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.67.07>.
6. Unmanned Sailing Vehicle Tested for Data-Gathering Capabilities. <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21121743/igus-inc-unmanned-sailing-vehicle-tested-for-datagathering-capabilities>
7. Блінцов В.С., Соколов В.В. Сучасні задачі автоматизації керування безекіпажним надводним катером. Автоматика-2016 : матеріали ХХІІІ Міжнародної конференції з автоматичного управління. 2016. – С. 201-202.
8. Сабуцький І.П. Інтелектуальна система автоматичного керування малорозмірним безекіпажним судном в умовах дії зовнішніх збурень. Підводна техніка і технологія: матеріали ХІ всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв : НУК, 2021. – С. 220-225.

УДК 629.05

ФОРМУЛЮВАННЯ ГОЛОВНИХ ЗАДАЧ СТВОРЕННЯ БЕЗЕКІПАЖНИХ НАДВОДНИХ СУДЕН НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Надточій В.А.

*к.т.н., доцент Херсонського навчально-наукового інституту,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова*

Безекіпажні надводні судна (БНС) на цей час все частіше використовуються для морських транспортних перевезень, дослідження мінеральних та харчових ресурсів Світового океану, проведення наукових досліджень та природоохоронних робіт [1]. Створення та впровадження у морську практику такого виду морської техніки на цей час є одним з головних напрямків розвитку водного транспорту [2].

З позицій системного підходу до проектування засобів морської робототехніки [3] до генеральної множини $T_{БНС}$ головних задач створення БНС такого призначення слід віднести наступну множину задач, успішний розв'язок яких забезпечить їх конкурентоздатність на ринку морської техніки:

- множину $T_{БНС-К}$ задач раціонального вибору форми корпусу БНС, який би максимально повно відповідав вимогам до морехідності таких суден – остійності, міцності, водонепроникності, непотоплюваності, плавучості, керованості (задача $T_{БНС-К-М} \in T_{БНС-К}$) та вимогам до ефективного виконання всього переліку режимів щодо застосування АНПА (задача $T_{БНС-К-Еф} \in T_{БНС-К}$); зазначимо, що на цей час використовують чотири основні форми корпусу БНС: твердий надувний корпус, однокорпусні (типу «каяк»), катамаран (двохкорпусні) та тримарани (трьохкорпусні);

- множину $T_{БНС-Е}$ задач вибору типу та потужності головної енергетичної установки – дизель-електрична, акумуляторна, вітрогенераторна, фотоелектрична тощо (задача $T_{БНС-Е-ГЕН} \in T_{БНС-Е}$) та рушійно-стернового комплексу БНС – гребні гвинти у насадках, поворотні рульові колонки, водомети тощо (задача $T_{БНС-Е-РК} \in T_{БНС-Е}$); крім того, важливою складовою підмножини задач $T_{БНС-Е}$ є задача побудови інтегрованої електроенергетичної системи БНС (в англійській літературі – Integrated Power and Energy Systems, IPES), яка б забезпечила оптимізацію процесів зберігання та ефективного використання бортової енергії з метою збільшення часу виконання морської місії БНС (задача $T_{БНС-Е-Інт} \in T_{БНС-Е}$) [4];

- множину $T_{БНС-І}$ задач синтезу систем інформаційно-керуючого забезпечення функціонування БНС – автоматизованого (телекерування по радіоканалу) чи автоматичного (електронна навігація) керування рухом БНС (задача $T_{БНС-І-Рух} \in T_{БНС-І}$), автоматизованого чи автоматичного керування двохстороннім радіо- чи супутниковим зв'язком між БНС та центром керування і контролю (ЦКК, задача $T_{БНС-І-З} \in T_{БНС-І}$), автоматизованого чи автоматичного керування бортовим технологічним обладнанням – системами керування енергетичним та інформаційним забезпеченням групи АНПА перед початком місії, системою запуску групи АНПА з борту БНС, автоматизованого чи автоматичного керування загальносудновими механізмами – електро- та гідравлічним обладнанням безекіпажного судна (задача $T_{БНС-І-ЗСМ} \in T_{БНС-І}$);

- множину $T_{БНС-Л}$ задач синтезу складових БНС, які забезпечують ефективне застосування групи АНПА за основним призначенням; зокрема, на сьогодні до таких складових можна віднести розробку берегового чи мобільного центру керування і контролю БНС (задача $T_{БНС-Л-ЦКК} \in T_{БНС-Л}$), розробку системи керування корисним вантажем (КВ) БНС – систему випуску групи АНПА з борту БНС як об'єкта автоматизованого чи автоматичного керування (задача $T_{БНС-Л-КВ} \in T_{БНС-Л}$) та розробку

вбудованих систем діагностики і захисту електромеханічного обладнання БНС (задача $T_{\text{БНС-}J\text{-Діагн}} \in T_{\text{БНС-}J}$ та задача $T_{\text{БНС-}J\text{-Зах}} \in T_{\text{БНС-}J}$)

Таким чином, генеральна множина $T_{\text{БНС}}$ головних задач створення БНС може бути представлена у вигляді:

$$T_{\text{БНС}} = [T_{\text{БНС-}K}; T_{\text{БНС-}E}; T_{\text{БНС-}I}; T_{\text{БНС-}J}], \quad (1)$$

де:

$$T_{\text{БНС-}K} = \{T_{\text{БНС-}K\text{-}M}; T_{\text{БНС-}K\text{-}E\phi}\}; \quad (2)$$

$$T_{\text{БНС-}E} = \{T_{\text{БНС-}E\text{-}ГЕУ}; T_{\text{БНС-}E\text{-}РК}; T_{\text{БНС-}E\text{-}Інт}\}; \quad (3)$$

$$T_{\text{БНС-}I} = \{T_{\text{БНС-}I\text{-}Рух}; T_{\text{БНС-}I\text{-}З}; T_{\text{БНС-}I\text{-}БТО}; T_{\text{БНС-}I\text{-}ЗСМ}\}; \quad (4)$$

$$T_{\text{БНС-}J} = \{T_{\text{БНС-}J\text{-}ЦКК}; T_{\text{БНС-}J\text{-}КВ}; T_{\text{БНС-}J\text{-}Діагн}; T_{\text{БНС-}J\text{-}Зах}\}. \quad (5)$$

Виходячи з (1)-(5) можна констатувати, що розробка БНС як носіїв групи АНПА є складним прикладним науковим завданням, яке необхідно виконувати із залученням багатьох наукових та інженерних дисциплін.

У доповіді розглядається розв'язок двох задач з генеральної множини (1), які пов'язані з автоматизацією керування БНС: задачі $T_{\text{БНС-}I\text{-}Рух} \in T_{\text{БНС-}I}$ вдосконалення керування рухом БНС та задачі $T_{\text{БНС-}J\text{-}Вип} \in T_{\text{БНС-}J}$ випуску групи АНПА з борту БНС-носія, яка входить у підмножину $T_{\text{БНС-}J}$.

Висновки.

Запропонована генеральна множина головних задач створення БНС та отримані розв'язки деяких задач цієї множини (вдосконалення керування рухом БНС та задачі випуску групи АНПА з борту БНС-носія) можуть слугувати теоретичною основою для планування проектних робіт зі створення БНС різного призначення.

Список використаної літератури

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy. Published by the Stockton Center for International Law. Volume 97, 2021. 49 Pages.
<https://digitalcommons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>
2. The Future is Now: Unmanned and Autonomous Surface Vessels and Their Impact on the Maritime Industry. Benedict's Maritime Bulletin December 2017.
<https://www.blankrome.com/publications/future-now-unmanned-and-autonomous-surface-vessels-and-their-impact-maritime-0>
3. Blintsov V.S., Klochkov O.P. Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. *Scientific journal «EUREKA: Physics and Engineering»*. 2019. Vol. 2 (21). P. 43-51.
4. Kris Osborn. The Navy's Unmanned Surface Vessels Will Be Hungry for Energy.
<https://nationalinterest.org/blog/buzz/integrated-power-and-energy-systems-will-power-21st-century-weapons-199462>

УДК 629.05

ОГЛЯД БЕЗЕКІПАЖНИХ НАДВОДНИХ СУДЕН ЯК ПЕРСПЕКТИВНИХ НОСІВ АВТОНОМНИХ НЕНАСЕЛЕНИЙ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

Надточій В.А., к.т.н., доцент,

Бурунін А.П., аспірант,

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

Безекіпажні надводні судна (БНС, в англійській літературі – Unmanned Surface Vehicles – USVs або Maritime Autonomous Surface Ships – MASS) знаходять все більше застосування при виконанні завдань з морських транспортних перевезень, дослідження ресурсів океанів та наукових досліджень, природоохоронних робіт та робіт із забезпечення морського права на морі у провідних морських країнах світу [1].

Створення та впровадження у морську практику такого виду морських суден на сьогодні оцінюється як магістральний напрямок розвитку водного транспорту [2].

У порівнянні з традиційними суднами з екіпажами БНС мають наступні переваги:

- можуть виконувати більш тривалі й небезпечні місії;
- мають нижчі витрати на технічне обслуговування та екіпажі для керування;
- мають малу вагу та невеликі розміри, що забезпечує підвищену маневреність і можливості розгортання на мілководних акваторіях (річкових й прибережних районах), де більші кораблі не можуть ефективно діяти;
- мають більшу потенційну вантажопідйомність і можливість дистанційно виконувати типові морські операції.

Автори вважають, що такий вид морської робототехніки, як складова морського безекіпажного комплексу (МБК), може бути успішно використаний у якості носія для групи автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА), які мають виконувати підводні місії на близьких і на віддалених акваторіях.

Конструкції БНС та технології їхнього застосування пройшли декілька стадій розвитку, тісно пов'язаних з прогресом технічних наук та поточних потреб морських держав.

Історично першим патентом щодо БНС був патент Ніколо Тесли у 1898 року [3]. Крім доставки вантажів і зв'язку з важкодоступними місцевостями, автор згадує про військові цілі свого винаходу: «Гарантована і безмежна руйнівність мого винаходу дозволить встановити і підтримувати вічний мир між народами».

Однак перші реально створені БНС з'явилися у Німеччині на початку ХХ сторіччя. Ці судна були керованими по спеціальному кабелю. Проте наприкінці Першої світової війни в німецькому флоті з'явилися також бездротові радіокеровані катери [4].

Радянська Росія також розробляла радіокеровані катери для потреб оборони портів на Балтиці. Так, у 1924 році було створено два типа радіокерованих катерів – «Піонер» і «Оса», які передбачали радіокерування з берегового поста керування та з літака [5]. А на військових навчаннях 1937 року у Фінському заливі вже приймали участь біля 50 радіокерованих катерів.

Одним з перших напрямків практичного застосування БНС було їх використання Італією у Другій світовій війні як засобу доставки вибухівки для знищення надводних військових кораблів Великобританії на Середземному морі [6]. Тоді було успішно застосовано малорозмірні швидкісні катери МТМ та МТР. На стадії підходу до цілі такий катер керували людиною, яка після прицілювання катера залишала його на рятувальному плоту, а катер на прикінцевій стадії атаки керувався автоматично.

Після Другої світової війни в США БНС були розроблені та використані для двох основних цілей: протимінної боротьби на морі та для оцінки бойових пошкоджень надводних кораблів під час випробувань атомних бомб [7].

Наприкінці ХХ сторіччя інтерес до застосування БНС з'явився в Ізраїлі з-за необхідності автоматизувати операції з охорони морського узбережжя та акваторій портів.

Як результат, з 2004 року було успішно застосовано у складі військово-морських сил декілька типів малорозмірних безекіпажних катерів: "Protector", "Seagull", "Katana", "Stingray" та "Silver Marlin" [8, 9].

Головне їх призначення – протистояння терористичним загрозам з моря, розвідка, спостереження та ведення протимінної війни (рис. 2, б-в).

Одночасно розвивали свої БНС США, де у 2006 році було розроблено генеральний план створення БНС для потреб військово-морського флоту [7].

Пізніше, з 2012 року, в рамках європейської програми "MUNIN" розпочались прикладні наукові дослідження щодо розробки концепції керування БПС та оцінки технічної, економічної та правової складових їх використання [10]. Метою дослідження було наукове обґрунтування доцільності та можливості створення морських БНС транспортного типу, які б могли забезпечити безпечні океанські перевезення.

У подальшому в багатьох морських країнах світу розгорнулись теоретичні дослідження та роботи зі створення БНС різного призначення, з'явилися наукові огляди та практичні узагальнення щодо результатів застосування БНС [11-13].

У рамках подальшого розвитку ідей програми "MUNIN" на протязі 2015-2017 років було виконано проєкт "AAWA", головним виконавцем якого була англійська фірма "Rolls-Royce" (Великобританія) [14]. Проєкт об'єднав університети, проєктні організації, виробників обладнання та класифікаційні товариства для вивчення економічних, соціальних, правових, нормативних та технологічних факторів, які необхідно вирішити, щоб БНС стали реальністю.

У рамках проєкту його учасники шукали відповіді на три наступні питання:

- які повинні бути технології керування БНС і як вони повинні взаємодіяти при його автономному плаванні;
- як потрібно спроектувати таке судно, щоб воно було настільки ж безпечним, як і звичайні судна, які нові ризики з'являться і як їх уникнути;
- які повинні бути спонукальні мотиви для судновласників вкладати кошти в БПС і хто після їх "легалізації" буде відповідальний у випадку того або іншого інциденту.

Одночасно з проєктом "AAWA" у Норвегії було реалізовано проєкт "AUTOSEA" [15], основною метою була розробка методів судноводіння та навігації БНС. Цей проєкт підтвердив ефективність системи запобігання зіткненням у повномасштабних натурних експериментах, що дало змогу реалізувати проєкт автоматичного автомобільного порому для Балтійського моря [16].

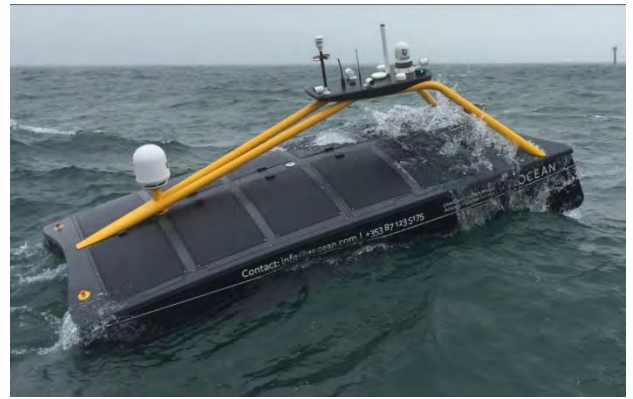
Подальшим розвитком проєкту "AUTOSEA" був проєкт Євросоюзу "Hull-to-Hull" [17], метою якого було забезпечення безпечного плавання в безпосередній близькості від інших суден на основі застосування систем супутникової навігації. Такий підхід дозволяє прецизійно оцінювати як відстань до навколишніх об'єктів, включаючи судна, що рухаються, так і швидкість зближення з ними.

Сьогодні у всьому світі нараховується більш ніж 1000 морських автономних надводних суден, які експлуатуються більш ніж 53 організаціями [18].

На рис. 1 наведено зовнішній вигляд типових БНС різних архітектурно-конструктивних типів та різного призначення.



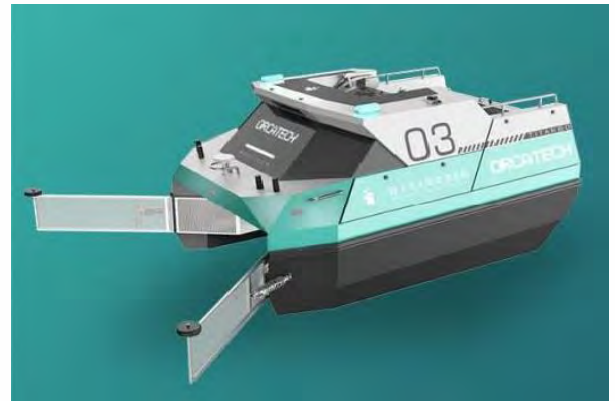
а



б



в



г



д



е



ж



з

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд сучасних БНС різного призначення

Наведені на рис. 1 БНС мають наступне призначення:

а – багатоцільове БНС «SeaFly-01» («Beijing Sifang Automation», КНР) [19];

- б – дистанційно кероване через супутник БНС USV XO-450 компанії «ХОСЕАН» (Канада) для збору батиметричних даних у внутрішніх водах Шотландії [20];
в – БНС «ORCA UBOAT» (США) для водного серфінгу [21];
г – БНС «TITAN» (КНР) для очищення мілководних водойм шляхом косіння водних рослин [22];
д – БНС «C-Worker 5» (Канада) для обстеження підводних кабельних трас [23];
е – БНС-вітрильник «Saildrone» (США) з сонячними елементами для проведення океанографічних досліджень [24];
ж – БНС з дистанційним керуванням «Maxlimer» фірми «Sea-Kit International» (Канада), призначене, у тому числі й для роботи з АНПА [25];
з – багатоцільове БНС «Zhu Hai Yun» (КНР) для комплексного використання ЗМР різних типів – АНПА, безпілотних літальних апаратів (БЛА) та малих БНС [26].

Висновки: На цей час основними напрямками застосування БНС є науково-дослідницькі, гідрографічні, природоохоронні та аварійно-рятувальні морські роботи. Перспективним є також використання БНС як судна як для збору океанографічної інформації, так і як носія малорозмірних БНС, АНПА та БЛА. Це підтверджує перспективність та актуальність створення БНС як носіїв для засобів морської робототехніки і, зокрема, як носіїв автономних ненаселених підводних апаратів.

Список використаної літератури

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy. Published by the Stockton Center for International Law. Volume 97, 2021. 49 Pages. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>
2. The Future is Now: Unmanned and Autonomous Surface Vessels and Their Impact on the Maritime Industry. Benedict's Maritime Bulletin December 2017. <https://www.blankrome.com/publications/future-now-unmanned-and-autonomous-surface-vessels-and-their-impact-maritime-0>
3. N. Tesla. Method of and apparatus for controlling the mechanism of moving vessels or vehicles. Patent USA №613,809. Patented Nov. 8, 1898. <https://russian.rt.com/article/317543-nikola-tesla-zapatentoval-ispolzovanie-voennyh-bespilotnikov-v>
4. В. Щербаков. Война на море — эпоха машин. <https://www.vokrugsveta.ru/vs/article/6260/>
5. Телеуправляемые красноармейцы: катера волнового управления. <http://alternathistory.com/teleupravlyaemye-krasnoarmejsy-katera-volnovogo-upravleniya/>
6. Боргезе В. Десятая флотилия МАС. Перевод с итальянского С.В. Славина и Ю.А. Карулина. М. : Изд-во иностранной литературы, 1957. 281 с.
7. U.S. Department of the Navy, The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan, July 23, 2007. [Электронный ресурс] Дата обращения 27.08.2014. – URL : <https://www.hsdl.org/?view&did=479083>
8. One platform, one complete view of Defence market data. https://plus.shephardmedia.com/login/?next=https%3A%2F%2Fplus.shephardmedia.com%2Fdetail%2Fprotector-1%2F%3F_ga%3D2.181422951.1561353826.1634494976-2061357576.1634494975
9. Protector. Unmanned Surface Vehicle RAFAEL. <https://web.archive.org/web/20070503115143/http://www.defense-update.com/products/p/protector.htm>
10. Research in maritime autonomous systems. Project results and technology potentials. <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf>
11. Justin E. Manley. Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development. Battelle Applied Coastal and Environmental Services. (2008). Conference: OCEANS 2008. DOI:10.1109/OCEANS.2008.5152052. <https://www.ieeeoes.org/history/080515-175.pdf>
12. Vitor A. M. Jorge, Roger Granada, Renan G. Maidana, Guilherme Heck, Alvaro P. F. Negreiros, Davi H. dos Santos, and Alexandre M. Amory. A Survey on Unmanned Surface

Vehicles for Disaster Robotics: Main Challenges and Directions. *Sensors* 2019, **19**(3), 702; doi.org/10.3390/s19030702

13. Nuno Mathias. Autonomous surface vehicles and the new directions of maritime exploration. *INEGI driving & Innovation*. 01 July 2020. <http://www.inegi.pt/en/news/autonomous-surface-vehicles-and-the-new-directions-of-maritime-exploration/>

14. Rolls Royce : AAWA project introduces the project's first commercial ship operators. <https://www.marketscreener.com/quote/stock/ROLLS-ROYCE-HOLDINGS-PLC-4004084/news/Rolls-Royce-AAWA-project-introduces-the-project-s-first-commercial-ship-operators-22156271/>

15. Autosea – Sensor fusion and collision avoidance for autonomous surface vehicles. <https://www.ntnu.edu/autosea>

16. Falco (беспилотный паром). https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Falco_%28%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BC%29

17. Berge, Svein P., Hagaseth, Marianne, Kvam, Per Erik, Rinnan, Arne. Hull-to-Hull Concept Supporting Autonomous Navigation. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2598992>

18. Autonomous Vessels are Becoming a Commercial Reality. <https://www.maritime-executive.com/editorials/autonomous-vessels-are-becoming-a-commercial-reality>

19. Автономные морские системы на страже интересов Китая. <https://army-news.org/2018/12/avtonomnye-morskie-sistemy-na-strazhe-interesov-kitaya/>

20. Cable Inspections the Uncrewed Way. <https://www.hydro-international.com/content/article/cable-inspections-the-uncrewed-way>

21. Autonomous Surface Vessel USV Unmanned Ski Boat ORCA UBOAT For Water Surfing. <https://mart.ecer.com/orcauboot/pz65bfc1b-autonomous-surface-vessel-usv-unmanned-ski-boat-orca-uboot-for-water-surfing.html>

22. Water Pollution Monitoring RC Boat River Cleaning Robot For Urban Inland Rivers 430kg. <https://mart.ecer.com/orcauboot/pz65bfc8d-water-pollution-monitoring-rc-boat-river-cleaning-robot-for-urban-inland-rivers-430kg.html>

23. Cable Route Survey with Unmanned Survey Vehicles. <https://geo-matching.com/content/cable-route-survey-with-unmanned-survey-vehicles>

24. What Is a Saildrone? <https://www.saildrone.com/technology/vehicles>

25. Unmanned 12-Meter Ship Aims to Be First to Cross Atlantic Without Crew. <https://gcaptain.com/unmanned-12-meter-ship-to-cross-atlantic/>

26. China Launches Drone Ship That Acts As A Mothership For More Drones. <https://zetabizu.com/china-launches-drone-ship-that-acts-as-a-mothership-for-more-drones/>

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ МАЛОРОЗМІРНИМ БЕЗЕКІПАЖНИМ СУДНОМ В УМОВАХ ДІЇ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ

Сабуцький І.П.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна*

Вступ. Малорозмірні безекіпажні надводні судна (МБНС) утворюють важливий окремий тип засобів морської робототехніки, який має досить широке застосування у практичній діяльності організацій морегосподарського комплексу провідних морських країн світу [1].

З позицій керування такі об'єкти характеризуються підвищеною чутливістю до дії сил зовнішніх збурень – сил вітро-хвильової природи та течії. Крім того, зазвичай, МБНС часто функціонують в умовах стисненої навігації, коли необхідно забезпечувати безаварійний рух судна при наявності стаціонарних та рухомих навігаційних перешкод.

У той же час існують жорсткі вимоги е-навігації, які вимагають від систем автоматичного керування (САК) МБНС високої якості керування [2]. Виконання цих вимог обумовлює необхідність подальшого вдосконалення прикладної теорії автоматичного керування морськими рухомими об'єктами у напрямку синтезу САК, які б забезпечували необхідну якість автоматичного керування малорозмірним судном.

Зазначимо, що науковими дослідженнями у напрямку автоматичного керування активно займаються науковці різних країн [3-5]. До головних напрямків досліджень належать:

- розгляд класичної проблеми синтезу САК судновим курсом, у тому числі й за відносно новою методологією «Active Disturbance Rejection Control» (ADRC, активний контроль відхилення перешкод) [3];

- розгляд проблеми керування відстеженням траєкторії для МБНС з обмеженнями руху та екологічними порушеннями [4];

- розгляд проблеми керування відстеженням групи з декількох МБНС, які працюють в умовах із невідомою динамікою та невизначеними збуреннями [5].

Однак, на цей час відсутні результати досліджень щодо розробки САК МБНС, які охоплювали розгляд питань побудови комплексних САК, які б забезпечували керування для всієї множини режимів автоматичного керування такими об'єктами [6].

Попередній аналіз свідчить, що до основних режимів функціонування МБНС, які обумовлені їх призначенням, можна віднести наступні три режими [7]:

- стабілізація курсу R_C ;
- стабілізація траєкторії R_T ;
- позиціонування у точці R_S .

До вказаних режимів слід додати ще режим R_G роботи одиночного МБНС у складі групи безекіпажних надводних суден, які виконують спільну морську місію.

Тоді базову множину режимів роботи САК одиночного МБНС $R_{САК-МБНС}$ можна представити у наступному вигляді:

$$R_{САК-МБНС} = \{ R_{САК-C}; R_{САК-T}; R_{САК-S}; R_{САК-G} \}. \quad (1)$$

Зазначимо, що для вказаних основних режимів роботи САК одиночним МБНС характерним є наявність дії зовнішніх збурень \vec{F}_{FP} у вигляді векторів сил вітру \vec{F}_{Wn} , хвиль \vec{F}_{Wv} та течії \vec{F}_V .

Згідно [7] функціонування МБНС у цілому передбачає наступні режими автоматичного керування:

- автоматичне діагностування R_{D1} механізмів, вузлів і систем МБНС перед початком виконання місії;
- автоматичний вихід R_{B1} з бази до початкової точки маршруту заданої місії;
- автоматичний рух МБНС по заданій траєкторії R_{T1} під час переходу у робочу зону акваторії;
- автоматичне маневрування R_M у робочій зоні акваторії та/чи автоматична стабілізація R_S у заданій точці заданої акваторії;
- автоматичний рух МБНС R_{T2} по траєкторії повернення у кінцеву точку маршруту місії;
- автоматичне повернення R_{B2} до бази;
- автоматичне діагностування R_{D2} механізмів, вузлів і систем МБНС після завершення місії.

При цьому множина $R_{МБНС}$ основних режимів функціонування МБНС містить наступні елементи:

$$R_{МБНС} = \{R_{D1}; R_{B1}; R_{T1}; R_M; R_S; R_{T2}; R_{B2}; R_{D2}\}. \quad (2)$$

До головних задач САК МБНС, згідно [7], віднесено задачу безпечної навігації МБНС у режимах руху $\{R_{B1}; R_{T1}; R_M; R_S; R_{T2}; R_{B2}\}$, який відбувається в умовах дії зовнішніх збурень та наявності навігаційних перешкод у вигляді інших плавзасобів.

Необхідність розв'язку задачі R_G (груповий рух МБНС) обумовлює необхідність доповнення множини режимів (2) додатковим режимом функціонування МБНС - режимом руху у групі МБНС, які виконують спільну місію.

Це обумовлює необхідність доповнення узагальненої структурної схеми інтелектуальної багаторівневої САК режимами роботи МБНС, описаної в [7], додатковими блоками, які мають забезпечувати безаварійний груповий рух одиночного МБНС.

Удосконалена структурна схема САК рухом МБНС наведена на рис. 1.

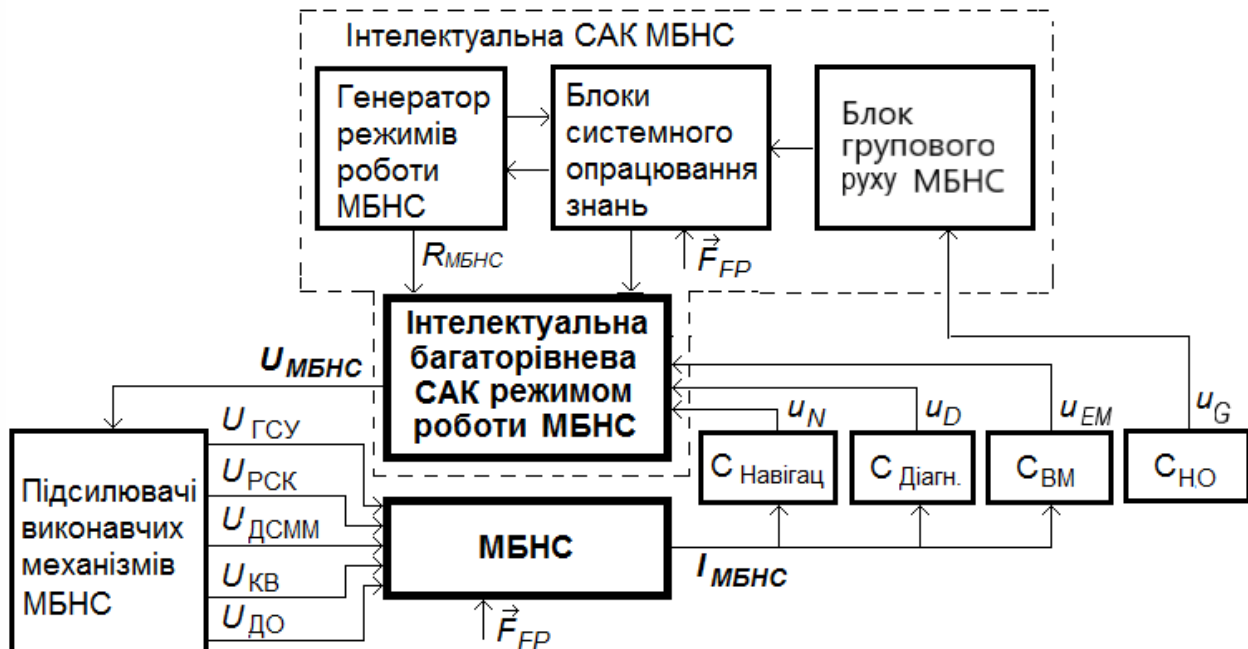


Рисунок 1 – Удосконалена узагальнена структурна схема інтелектуальної багаторівневої САК рухом одиночного МБНС

Розглянемо основні принципи роботи запропонованої інтелектуальної САК з урахуванням запропонованого вдосконалення.

Генератор режимів роботи МБНС – це програмний пристрій чи радіоканал, через який задається поточний режим роботи МБНС згідно множині (2).

Блоки системного опрацювання знань призначені для аналізу зовнішньої обстановки (вектору \vec{F}_{FP}) на основі використання наступних інформаційних технологій – експертних систем, штучних нейронних мереж, нечіткої логіки, еволюційних методів і генетичних алгоритмів.

В основу концепції інтелектуальності, зазвичай, покладено:

- уміння системи працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка);
- властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

САК режимом роботи МБНС реалізує заданий режим роботи судна, у результаті чого формується множина $U_{МБНС}$ сигналів керування виконавчими механізмами МБНС. Після підсилення генерованих САК сигналів керування ГСУ, РСК, ДСММ, КВ та ДО (відповідно, сигнали $U_{ГСУ}$, $U_{РСК}$, $U_{ДСММ}$, $U_{КВ}$ та $U_{ДО}$) вони надходять до відповідних виконавчих механізмів МБНС і, таким чином, забезпечують виконання заданого йому режиму функціонування.

Вихідними сигналами МБНС є множина інформаційних сигналів $I_{МБНС}$, які характеризують поточний стан МБНС як об'єкту керування.

Важливою складовою САК є система сенсорів, яка складається з трьох груп:

- навігаційних сенсорів $S_{Навігац.}$, які забезпечують САК інформацією про поточні навігаційні характеристики МБНС (курс, швидкість, географічні координати, а також їх похідні);

- діагностичні сенсори $S_{Діагн.}$, які дають інформацію про технічний стан виконавчих вузлів, механізмів і систем МБНС;

- сенсори $S_{ВМ}$ виконавчих механізмів МБНС, які утворюють зворотній зв'язок для САК по керованим величинам МБНС як об'єкту керування.

До складу розробленої раніше узагальненої структурної схеми САК рухом одиночного МБНС уведемо два додаткові блоки:

- блок сенсорів навігаційної обстановки $S_{НО}$, вихідний сигнал u_G якого містить інформацію про кількість сусідніх МБНС групи, які утворюють небезпеку зіткнення з власним одиночним МБНС групи, а також інформацію про пеленги та дистанції до них;

- блок групового руху одиночного МБНС, який обчислює курсові кути, швидкості та прискорення зближення чи віддалення сусідніх МБНС, які виявлені блоком сенсорів навігаційної обстановки $S_{НО}$.

Додатковою функцією інтелектуальної багаторівневої САК режимами роботи одиночного МБНС має бути підсистема автоматичного керування його курсом і швидкістю, яка забезпечуватиме безаварійний рух одиночного МБНС в групі.

Таким чином, удосконалена САК МБНС реалізує три узагальнені принципи інтелектуального керування:

– керування рухом одиночного МБНС на основі аналізу зовнішніх даних ситуацій та подій (ситуаційне керування з урахуванням впливів \vec{F}_{FP});

– керування рухом одиночного МБНС у складі групи МБНС, які виконують спільну морську місію;

– використання сучасних інформаційних технологій обробки знань.

Висновок. На основі аналізу основних режимів функціонування МБНС розроблено удосконалено узагальнену структуру інтелектуальної системи автоматичного керування таким морським рухомим об'єктом, яка враховує вплив невизначеностей зовнішніх збурень та навігаційних завад, які виникають при одиночному та при груповому русі МБНС, а також дає змогу синтезувати відповідні закони керування судном в умовах активних проявів вказаних впливів та завад.

Література

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy. Published by the Stockton Center for International Law. Volume 97, 2021. 49 Pages. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>
 2. Riccardo Polvara, Sanjay Sharma, Jian Wan, Andrew Manning, Robert Sutton. Obstacle Avoidance Approaches for Autonomous Navigation of Unmanned Surface Vehicles. The Journal of Navigation, Volume 71, Issue 1, January 2018, pp. 241 – 256. DOI:10.1017/S0373463317000753
 3. Zenon Zwierzewicz, Lech Dorobczyński, Sławomir Jaszczak. Design of ship course-keeping system via active disturbance rejection control. 24th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems. Procedia Computer Science 176 (2020) 3310–3317. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.067>
 4. Ruo Zhang, Yuanchang Liu, Enrico Anderlini. Robust trajectory tracking control for unmanned surface vessels under motion constraints and environmental disturbances. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, vol. 236, 2: pp. 394-411. First Published August 16, 2021. <https://doi.org/10.1177/14750902211039663>
 5. Dong Dong Mu, Guo Feng Wang, Yun Sheng Fan. Formation Control Strategy for Underactuated Unmanned Surface Vehicles Subject to Unknown Dynamics and External Disturbances with Input Saturation. International Journal of Control, Automation and Systems, volume 18, pages 2742–2752 (2020). <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-019-0611-6>
 6. Miller, A., Rybczak, M., Rak, A. Towards the Autonomy: Control Systems for the Ship in Confined and Open Waters. Sensors 2021, 21, 2286. <https://doi.org/10.3390/s21072286>
- Сабуцький І.П. Інтелектуальна система автоматичного керування малорозмірним безекіпажним судном в умовах дії зовнішніх збурень. Підводна техніка і технологія: матеріали XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв : НУК, 2021. – С. 222-227.

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ РОБОТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИРОДООХОРОННОГО МОНІТОРИНГУ АКВАТОРІЙ

Трибулькевич В.В.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна*

Вступ. Морські та річкові акваторії України активно використовуються для господарської діяльності як транспортні шляхи та як джерела рибохарчової продукції. Крім того, останнім часом на вказаних акваторіях ведуться бойові дії, а велика частка територіальних вод держави замінована. Все це робить актуальною задачу природоохоронного моніторингу водних акваторій держави, метою якого є збереження водного середовища та забезпечення його безпечного використання в інтересах суспільства.

Аналіз результатів сучасних досліджень у напрямку моніторингу вод свідчить, що до основних екологічних проблем водогосподарського комплексу України можна віднести наступні [1, 2]:

- евтрофікація водних об'єктів;
- хімічне, теплове, радіаційне, бактеріологічне забруднення водних об'єктів;
- зміна видового складу та зменшення біорізноманітності водних екосистем;
- зміна гідрологічного режиму річок внаслідок їх зарегулювання, створення водосховищ та осушення боліт тощо.

Системний аналіз сучасного екологічного стану водних ресурсів України свідчить про наявність наступних проблем [3]:

- надмірне антропогенне (у тому числі внаслідок бойових дій) навантаження на водні об'єкти, що призвело до зменшення самовідтворювальних можливостей мілководних акваторій (річок, озер, водосховищ), є причиною виснаження водоресурсного потенціалу держави та утворює загрозу життю і здоров'ю людей;
- відсутність автоматизованої постійно діючої системи моніторингу вод на підприємствах-забруднювачах;
- відсутність дієвого контролю за скидами стічних вод та за скидами лояльних вод з суден;
- відсутність системи моніторингу морських акваторій у територіальних водах держави та на внутрішніх водоймах (річках, водосховищах тощо).

Сучасні вимоги до природоохоронного моніторингу водних акваторій полягають у необхідності проведення наступних операцій зі спостереження за станом та процесами експлуатації, вимірюваннями та відбором проб води і ґрунту [4]:

- дистанційних за технологією;
- інструментально точних за метрологією;
- достовірних за географічними координатами;
- періодичних або постійних за часом;
- масових за кількістю точок вимірювань та пробовідбору;
- оперативних за часом доставки результатів вимірювань та пробовідбору;
- автоматизованих за характером обробки інформації;
- безпечних для життя і здоров'я людини.

Світовий досвід природоохоронної діяльності свідчить, що дотримання вказаних вимог у повному обсязі можливе за умов впровадження спеціальних засобів робототехніки [5, 6]:

- засобів морської робототехніки (ЗМР), призначених для моніторингу морських та річкових акваторій;
- засобів сухопутної робототехніки (ЗСР), призначених для моніторингу берегових територій, які відносяться до зони відповідальності природоохоронних служб;

- засобів авіаційної робототехніки (ЗАР), призначених для моніторингу надводної та берегової обстановки акваторій.

Однак для їх впровадження у практичну діяльність природоохоронних служб необхідно виконати попередній аналіз доцільності застосування конкретних типів ЗМР та аналіз можливості побудови автоматизованих систем для їх ефективного застосування.

Розглянемо основні типи ЗМР, які можуть утворити технічне забезпечення природоохоронних служб, які ведуть природоохоронну діяльність на морських та річкових акваторіях.

До ЗМР моніторингу акваторій належать:

- безекіпажні надводні судна (БНС), призначені для дистанційного відеомоніторингу акваторій та збору проб води та повітря у контрольованих зонах цих акваторій;

- безекіпажні надводні судна-носії авіаційних та підводних апаратів-роботів (БНС-Н), призначені для комплексного моніторингу повітряного, надводного та підводного середовищ акваторій;

- автономні ненаселені підводні апарати (АНПА), призначені для моніторингу підводного середовища акваторій;

- самохідні, буксирувані та опускні прив'язні ненаселені підводні апарати (відповідно, СПА, БПА та ОПА) для моніторингу підводного середовища акваторій та взяття проб води і ґрунту у контрольованих зонах цих акваторій;

- донні ненаселені підводні апарати (ДНПА), призначені для моніторингу параметрів водного середовища у режимі стаціонарних вимірювань.

До ЗСР моніторингу берегових територій належать колісні чи гасеничні безекіпажні платформи, які є носіями вимірювальної техніки та пробовідбірників ґрунту та повітря. Такі платформи комплектуються також сучасними системами відеоапаратури, радіолокації та тепловізійної техніки, а також високоефективними системами радіо- та супутникового зв'язку.

До ЗАР моніторингу акваторій належать:

- безекіпажні літальні апарати з нерухомим крилом;

- безекіпажні літальні апарати гелікоптерного типу;

- безекіпажні багатороторні літальні апарати.

Сучасні роботизовані технології виконання природоохоронних робіт на значних за площами акваторіях, крім того, вимагають об'єднання зазначених вище засобів робототехніки у єдину систему комунікацій (зв'язку). Така система повинна забезпечувати виконання природоохоронних місій групами однотипних чи різнотипних роботів, призначених для групової роботи.

У доповіді наводяться базові моделі функціонування окремих типів ЗМР, ЗСР та ЗАР, а також обговорюються їх сильні і слабкі сторони з позицій безпечного виконання природоохоронних місій.

Висновки. Наведено класифікацію засобів морської, сухопутної та авіаційної робототехніки, призначеної для виконання природоохоронних завдань на морських та річкових акваторіях, а також наведено відомості про переваги і недоліки такої техніки виконанні природоохоронних місій.

Література

1. Колтунович О. Проблеми та перспективи розвитку водогосподарського комплексу в Україні та країнах-членах СНД. – Економіка і суспільство. – Мукачівський державний університет, 2017. – Випуск №12. – С. 444-448.

2. Білоконь В. Стратегічні підходи до формування водної політики України. <https://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/4gigtP66.pdf>

3. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посіб. / А.І. Томільцева, А.В. Яцик, В.Б. Мокін та ін. – К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 200 с

4. Стратегія розвитку водної політики України – Водна Стратегія. https://mepr.gov.ua/files/KMU_Water%20Strategy_new.pdf

5. Matthew Dunbabin, Lino Marques. Robots for Environmental Monitoring: Significant Advancements and Applications. March 2012, IEEE Robotics & Automation Magazine 19(1):24-39. DOI:[10.1109/MRA.2011.2181683](https://doi.org/10.1109/MRA.2011.2181683)

6. Monitoring our oceans with robotic floats. <https://www.csiro.au/en/research/natural-environment/oceans/argo-robotic-floats>

**СЕКЦІЯ:
БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА**

СЕКЦІЯ:

***ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ***

MODELING OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR CALIPSO AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE, AS A GROUP AGENT.

Alopa Leo Tosin (PhD).

*Department of Marine Electrical Engineering and Robotic Complexes.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
(Ukraine. Mykolaiv)*

The growing demands for the highest efficiency and maximum productivity of unmanned maritime underwater missions stimulate the simultaneous use of group application of autonomous underwater vehicles (AUVs), for underwater search missions (USM) high reliability and speed of large areas with minimal time expenditure over the use of a giant single AUV [1]. Fig. 1 shows Calipso AUV - a small unmanned self-propelled free-swimming high efficient marine robotics - ideal for operating in solo and group navigation modes and possesses the potential for carrying out a wide range of maritime operations like search, survey, oceanography, exploration, monitoring, marine gas and oil industry, mine operations, scientific studies, etc. [1].

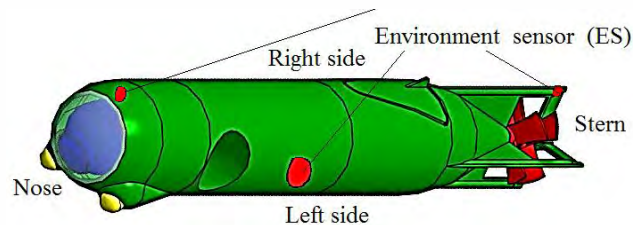


Figure 1. Calipso Autonomous underwater vehicle (Calipso AUV)

Calipso AUV has a standard configuration of length, diameter and weight of 50 m, 1.0 m and 80 kg respectively. It navigated with a speed of 1...3.5 m/s with an operation depth of 50m. It is developed with autonomous power supply system and with a continuous operation time of 1.5 hours. It is equipped with navigation equipment, depth gauge, course meter, roll and trim meter, magnetometer, video system.

Calipso AUV modeling is carried out as a group agent (GA), as applied to all the other AUVs in the group. Its navigation task is divided into global navigation (planning a path that leads the vehicle to a given point in the underwater space) and local navigation (ensures the trouble-free motion of an individual member-AUV in the group) having the sensory abilities to find positions of neighboring AUVs. In Fig. 2, a typical Calipso AUV group USM with respect to the neighboring AUVs is presented.

The simulation model structure is developed taking into account the peculiarities of the interaction of the AUV elements by connecting the inputs and outputs of the modules that simulate the individual elements of the AUV components. The mathematical model (MM) consists of the AUV basic law of dynamics model and MMs of hydrodynamic effects (HDE), MMs of the tail fins (TF) as part of the vertical and horizontal steers, and the MM of the propulsion-steering complex (PSC), the gravity and buoyancy forces (GBF) influence model.

The MM and ACS structure for the single Calipso AUV motion as a GA in the conditions of navigational proximity of other AUVs, designed to study the efficiency of the laws of AUVs accident-free motion during the performance of USM, are proposed.

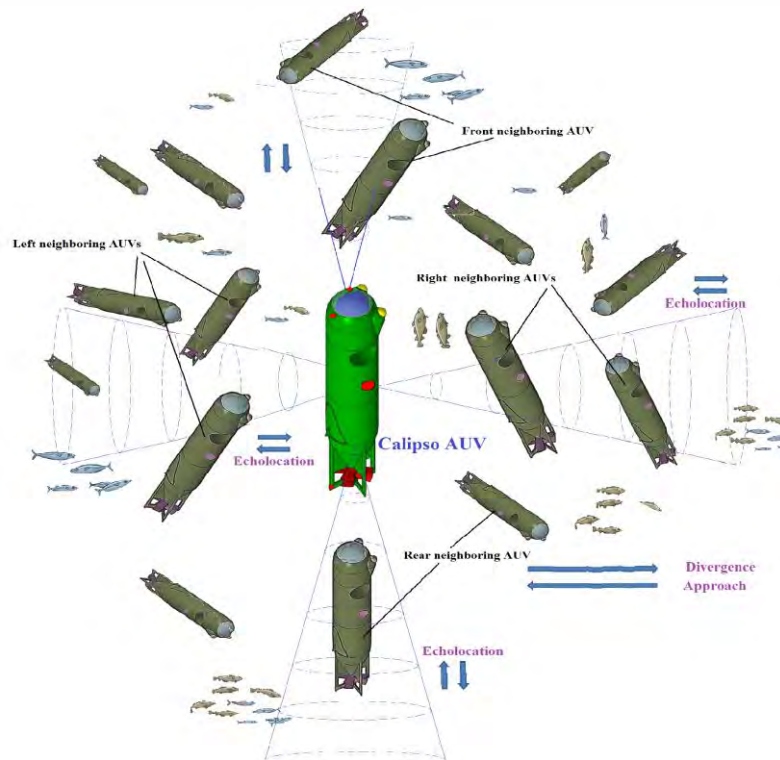


Figure 2. Typical Calipso AUV group USM scheme with respect to the neighboring AUVs.

Within the AUV group control task framework, synthesis of intelligent automatic control system in group transition modes (ACS GT) of one Calipso AUV as the AUV GA is a relevant applied scientific task. During the motion, it is necessary that each Calipso AUV maintains a safe distance from the neighboring vehicles in a given range of distances, when the minimum distance between them does not pose any emergency collision threat (adhesion mode). And the maximum distance guarantees the safety of the group and does not threaten the exit of a any AUV from the sensors view field of other group members (cohesion mode) [2].

If all vehicles act on plane motion, x_i is the distance from its own AUV to the neighboring AUV at heading angle i ; x_{min} - the minimum possible safe distance to the neighboring AUV, x_{max} - the maximum allowable distance between own AUV and the neighboring AUV, there are:

$$\text{alignment when} \quad A_{GU} = \{\varphi_G; v_G; H_G\}, \quad (1)$$

$$\text{adhesion when} \quad A_{GA} = \{x_i \geq x_{min}\}_{i=1..W} \quad (2)$$

$$\text{and cohesion when} \quad A_{GC} = \{x_i \leq x_{max}\}_{i=1..S} \quad (3)$$

where x_i – distance from the i -th Calipso AUV to the neighboring AUV at the exchange rate KK_i ; x_{min} – the minimum possible safe distance to the neighboring AUV; x_{max} – the maximum allowable distance between the i -th Calipso AUV and the neighboring AUV, which maintains a reliable sensory contact between them. W is the number of directions (course angles) controlled by the respective navigation rangefinders of the i -th Calipso AUV.

The developed control system MM was carried out in the Simulink system of the MATLAB environment. Fig. 3 presents a structural diagram of the ACS, which allows exploring the operations of its own AUV in conditions of navigational proximity of other AUV-neighbors, which deviate from the given course. The developed mathematical model allows keeping the control object at some distance from the established Calipso AUV neighbor.

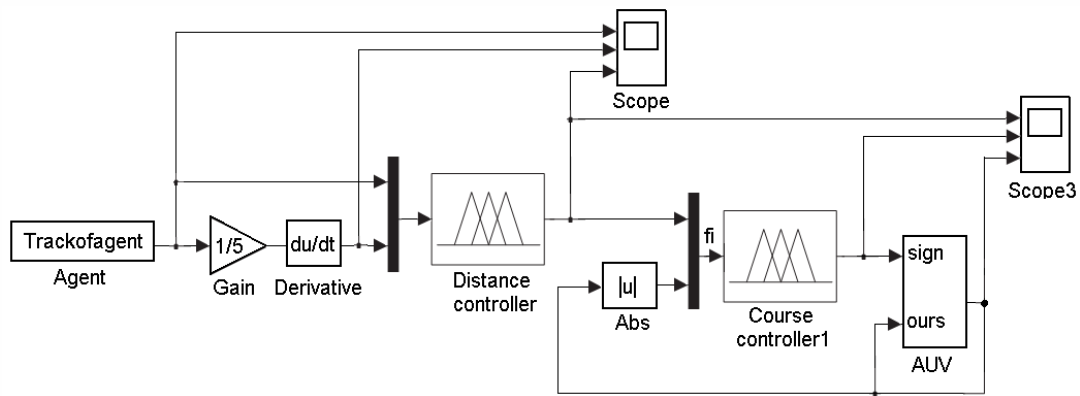
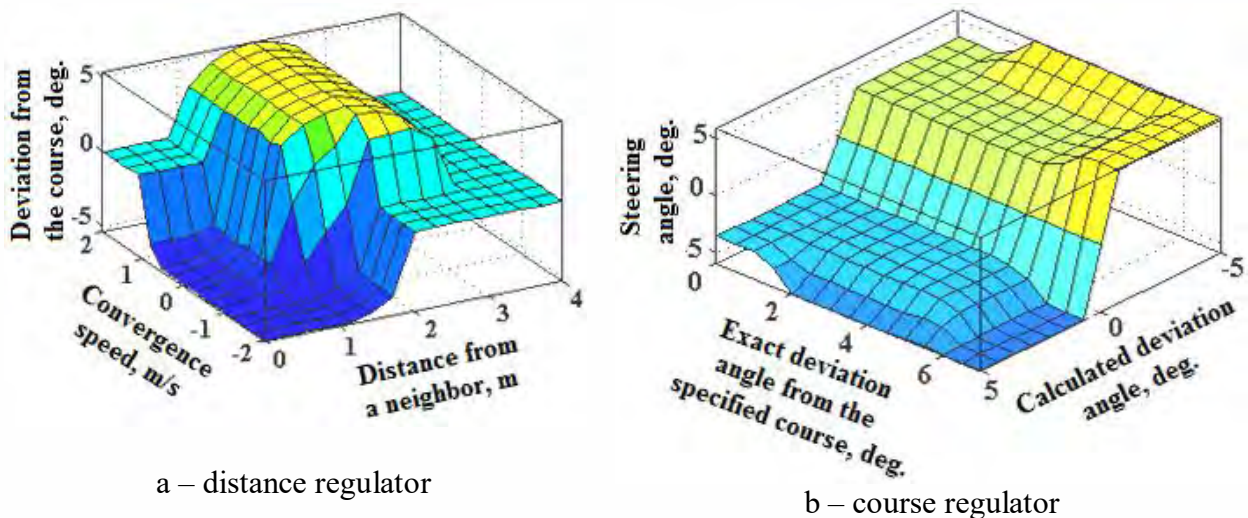


Figure 3. Block diagram of Calipso AUV ACS, implemented in the Simulink system

The Calipso AUV ACS summarizes the calculated recommendations, using them as corrective signals for generating control actions on the AUV actuating mechanisms (Executive, EM) – the steering wheel is steered (the controlled value is the rudder angle α), the marching propulsion device (the controlled value - thrust on the longitudinal axis F_x) and, in emergency cases, its vertical propulsion device (the controlled value - thrust on the vertical axis F_z).

The aforementioned control actions applied to the Calipso AUV hull cause the appearance of the actual variables of the spatial motion of the Calipso AUV, which are used as feedback signals in the Calipso AUV ACS. The Calipso AUV self-organization procedures for creating a group in practice determines the AUV group architecture based on the objectives of the task for which they are created (in this case, for search), and also take into account the environment in which it works. In architecture designing, information about the number of AUVs to work with a task and the type of control used (in this case, in decentralized control) is equally important.

These regulators are fuzzy PD-regulators of Mamdani type with defuzzification of the control variable by the method of the center of gravity (Fig. 4). The obtained ACS provides trouble-free motion of a single Calipso AUV as part of a group.



a – distance regulator

b – course regulator

Figure 4 - Surface view of the fuzzy controllers' outputs

Calipso AUV ACS generalized structure as a GA is shown in Fig. 3. The environment Sensors (ES) block of the i -th AUV contains a set of W sensors of controlled directions for the measurement of distances to targets detected in their measurement sectors. At the ES block exit, multiple sets of distances are formed to the neighboring AUV, and each set of signals X_{ESi} may contain several distances, if there are several AUV-neighbors and the bearings or heading angles on them are generated. Each element of the set of signals D_{3CW} can contain several distances d_{wi} , if there are several AUV- neighbors in the measurement sector of the w -th sensor.

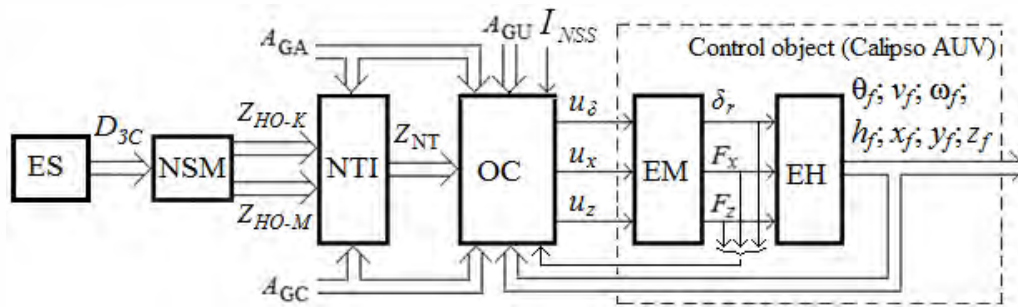


Figure 3 – The structure of the single Calipso AUV ACS

Based on the D_{3C_i} signals, the Navigation Situation Model (NSM) block generates the current static and dynamic characteristics of targets (neighbor-AUVs) around own AUV, determines the nearest AUV neighbors K that form the greatest collision threat, and determines M remote AUVs-neighbors, forming a threat of an unacceptably large distance from it and the loss of hydroacoustic communication (respectively, the initial variables Z_{HO-K_i} and Z_{HO-M_i}). As a result, two sets of parameters are formed that characterize the navigation environment around the i -th follower AUV:

$$Z_{HO-K_i} = \{D_{HO-K_i}; A_{HO-K_i}; KK_{HO-K_i}; V_{HO-K_i}\},$$

$$Z_{HO-M_i} = \{D_{HO-M_i}; A_{HO-M_i}; KK_{HO-M_i}; V_{HO-M_i}\},$$

where $K \leq W$ і $K \leq N$.

The obtained sets of parameters are represented by two pairs of matrices of sizes $[W \times K]$ and $[W \times M]$, in which the AUV neighbors' static and dynamic characteristics are associated with sensors of the controlled directions of the NSM unit (usually heading angles, namely: two matrices of distances to the nearest neighbor-AUVs D_{HO-K_i} and their approach or diverging speed V_{HO-K_i} , and two matrices of distances to the most distant AUV neighbors D_{NO-M_i} and the speed of changing distances to them V_{HO-M_i} .

The "Navigational Threats Identifier" (NTI) block estimates the degree of collision threat with neighbor-AUVs and/or the threat of loss of hydroacoustic contact with them in the case of flat horizontal motion, taking into account the group movement dynamics with detected nearest AUV neighbors and with detected most distant AUV neighbors along controlled directions. The initial data of the NTI block characterize the minimum and maximum distances to the AUV neighbors and the rate of their change over time. In addition, the initial data of the NTI block are a set of P_{NT_i} and recommendations for neutralizing each individual (acting alone) w -th detected threat, the elements of which are obtained using the theory of fuzzy logic.

The onboard control unit (OCU) solves three main tasks:

- formation of a control solution R_i for real maneuvering of the i -th follower AUV in order to avoid meeting with a single R_1 or group R_W threat and, at the same time, to keep itself in the group without losing contact with the nearest AUV neighbor (local level L control, subsystem);
- formation of control influences on the i -th follower AUV EM for the purpose of its safe movement as a part of AUV group with observance of requirements of the modes of adhesion A_{GA} and cohesion A_{GC} (executive level E of group management, subsystem);
- formation of control effects on the EM of the i -th follower AUV in order to implement the alignment mode A_{GU} of the i -th follower AUV, i.e. maintaining the set parameters as Calipso AUV GA control E , $SASC_E$ subsystem.

The OCU block structure is presented in Fig 4. Threat Level Analysis (TLA) module determines the number of controlled areas in which there are simultaneous navigation threats from the nearest AUV neighbors. Based on the analysis of the matrix of navigation threats D_{NT-K_i} and Z_{NT} by sorting, the number of its non-zero elements $WT \leq W$ is calculated by expression

$$W_T = \begin{cases} 0, & D_{NT-Ki} = 0 \text{ (Zero matrix);} \\ 1, & \text{If a single threat is detected} \\ > 1 & \text{If more than one threat is detected} \end{cases}$$

If $W_T=0$, it means that the navigation threats of the i -th follower AUV is not detected and its ACS performs the alignment A_{GU} , ie in the module "Formation of control effects-1" (FCE-1) forms control effects $\{u_{\delta i}; u_{xi}; u_{zi}\}$ for AUV EM for keeping stable three set parameters of automatic group motion [3].

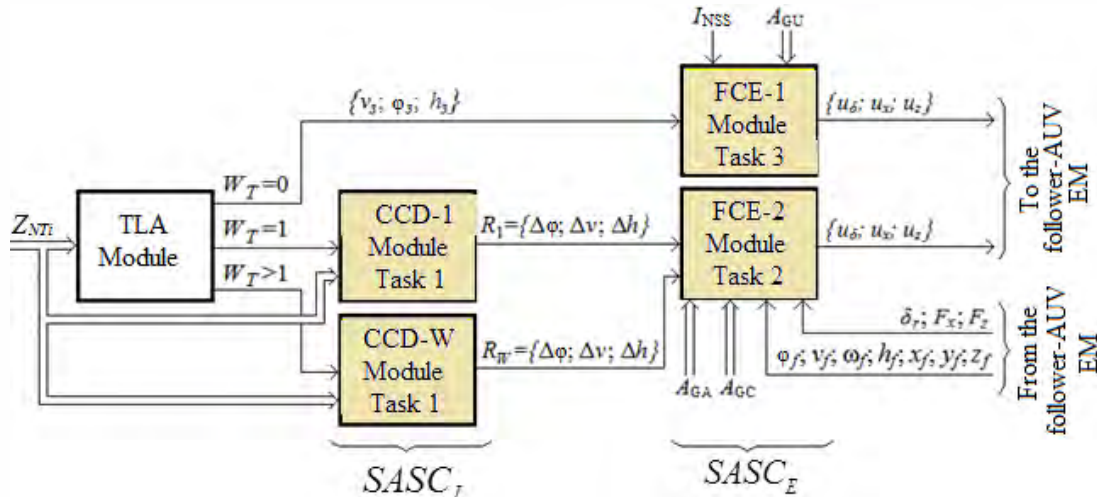


Figure 4 – The structure of the Onboard controller unit

If $W_T=1$, this means that a single navigational threat has been detected, and its neutralization should be carried out using the recommendations of the matrix P_{H3i} , size $[W \times 3]$, the elements $p_{H3wi} = \{\Delta\phi_{wi}, \Delta v_{wi}, \Delta h_{wi}\}$ of which contain the recommended control reactions of the i -th follower AUV to each w -th detected threat.

For this purpose, the module "Computation of control decisions" (CCD-1) was introduced into the structure of the OCU, where, using the matrix of recommendations P_{H3i} , the control decision $R_1 = \{\Delta\theta_i; \Delta v_i; \Delta h_i\}$ for a specific navigation situation with one neighbor AUV. Control actions $\{u_{\delta i}; u_{xi}; u_{zi}\}$ for VM are calculated in the module "Formation of control actions-2" (FCA-2) in compliance with the requirements of the adhesion A_{GA} and cohesion A_{GC} modes.

When $W_T > 1$, the control solution R_i is searched for each combination of threats separately. For this purpose, the "Computation of control decisions" (CCD-W) module was introduced into the OCU block, the content of which is determined by the value of W of the i -th follower AUV. Control actions $\{u_{\delta i}; u_{xi}; u_{zi}\}$ for the EM of this AUV are also calculated in the FCA-2 module.

So, with $W=4$, the number of combinations of possible navigational threats is 11 and is determined by the number of paired, triple and one quadruple combination of threats that turn out by ES_i sensors. If the nose, right, left and the stern sensors for the i -th follower AUV are designated as ES_N , ES_R , ES_L and ES_S , respectively The combinations of directions from possible navigational threats according to the combination formula will be obtained:

$$C_K^W = \binom{W}{K} = \frac{W!}{(W-K)!K!}$$

For example, with;

- two simultaneously detected threats, there are 6 directions from possible navigational threats i.e. - $(ES_N + ES_R)$; $(ES_N + ES_L)$; $(ES_N + ES_S)$; $(ES_S + ES_R)$; $(ES_S + ES_L)$; $(ES_R + ES_L)$;
- three simultaneously detected threats + $(ES_N + ES_R + ES_L)$; $(ES_S + ES_R + ES_L)$; $(ES_N + ES_R + ES_S)$; $(ES_N + ES_L + ES_S)$;
- four simultaneously detected threats - $(ES_N + ES_R + ES_L + ES_S)$.

If there are two simultaneously identified threats of the type ($ES_N + ES_R$) that act along different body-fixed coordinate axes, it is permissible to simultaneously apply two recommendations, since they cause maneuvers in different directions of movement of the i -th follower AUV.

When two threats are detected that act along the same axes (for example, threats ($ES_R + ES_L$) act along the transverse y -axis), the FCE unit determines the closest threat in terms of distance to the i -th follower AUV and implements controls according to recommendations. If the distances to these threats are the same, a maneuver is performed with speed ($\Delta v_{wi} \neq 0$) or immersion depth ($\Delta h_{wi} \neq 0$).

However, since the evasion maneuver from the nearest neighbor AUV is limited due to the presence of a threat from each controlled direction, the safest is an emergency change in the AUV diving depth. The fuzzy controller synthesis for each of the described variants of the navigation environment is a trivial engineering problem and is not considered here.

Literature.

1. D. Bingham, T. Drake, et.al. (2021). The Application of Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Technology in the Oil Industry – Vision and Experiences. *Hydrographic Surveying II*. Pp 1-13. https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2002/Ts4-4/Ts4_4_bingham_etal.pdf

2. Santos, V. G.; Chaimowicz, L., (2014). “Cohesion and segregation in swarm navigation”. *Robotica*, 32(2), Cambridge University Press, pp. 209-223,. <http://www.viniciusgraciano.com/research/cohesion-segregation/>

3. Блінцов В.С., Алоба Л.Т. (2020). Синтез системи автоматичного керування веденим автономним ненаселеним підводним апаратом як «агентом» групи. / В. С. Блінцов, Л. Т. Алоба // Збірник наукових праць НУК. № 4(482). Р. 89-97. <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/handle/123456789/3917>

4. Алоба Л.Т. (2019). Синтез інтелектуальної системи автоматического управління АНПА как агентом групи. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT : збірка матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції, 28-30 травня р. – Херсон : Херсонська державна морська академія. С. 224-227.

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДОЛАЗІВ

Нужний І. С.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала
Макарова(Україна)*

Вступ. Сучасний світ не можливо представити без підводних екскурсій та наукових досліджень, добутку корисних копалин з морського шельфу та проведення технологічних операцій по будівництву і обслуговуванню гідротехнічних споруд, та інше. Всі ці задачі пов'язані зі значною витратою дорогоцінного часу перебування водолаза під водою.

Найбільш ефективним варіантом вирішення проблеми є використання спеціалізованих технічних засобів – транспортувальників (буксировальників) водолазів.

Перші транспортувальники були розроблені на передодні другої Світової війни і з того часу пройшли значний шлях розвитку як конструкції так і технологій застосування. Надзвичайно високу їх актуальність в наш час, особливо в умовах військового вторгнення російських військ. Проведення ефективних сецоперацій на захопленій ворогом прибережній зоні неможливе без використання такої техніки.

Основним елементом, який визначає основні тактико-технічні характеристики таких пристроїв, призначення та можливості є їх джерело енергії – акумуляторна батарея (АБ). Правильний вибір типу АБ визначає як вартість і масо-габаритні показники засобів транспортування водолазів, тобто їх комерційну привабливість, так і їх тактико-технічні характеристики та основне призначення.

Основний зміст

У сучасних умовах існує декілька методів класифікації засобів транспортування водолазів, однак найбільш універсальним з них є метод, що враховує призначення та технологію застосування таких систем.

За такого підходу можна виділити наступні групи та підгрупи:

а) любительські буксировальники (їх також називають «скутери»):

- наддешеві (lowcost);
- дешеві;
- туристичні;
- напівпрофесійні;
- професійні:

б) спеціалізовані (за технологічним призначенням):

- рятувальні;
- універсальні;

в) спеціального призначення (військові):

- буксировальник;
- транспортувальники.

За час активного використання транспортувальників водолазів для проведення сецоперацій, з самого початку появи цього типу транспортного засобу, зумовило ряд жорстких вимог до їх джерел живлення:

- максимально можливі показники питомої енергоємності та питомої потужності;
- час роботи повинен складати декілька годин;
- можливість роботи в режимах з значними тимчасовими перевантаженнями, та інші.

Срібно-цинкові акумулятори

В ХХ-у столітті та на початку 2000-их років були основним варіантом джерела живлення, який задовольняв розробників. Їх перевагами є найкращі показники питомої енергоємності та питомої потужності.



а)



б)

Рисунок 1 – Варіанти срібно-цинкових акумуляторних батарей:

а) акумулятори серії СЦС (країна-виробник СРСР); б) набір акумуляторів для літака F-16

Однак, новітні наукові дослідження та бурхливий розвиток технологій призвели до появи нових матеріалів, які почали активно використовувати в виготовленні акумуляторів на літій-іонній (Li-Ion) основі. За останні десятиріччя суттєво поліпшили експлуатаційні характеристики акумуляторів, що використовують типові структуру і електрохімічну систему, а також з'явилися нові систем – літій-кобальтові (LiCoO_2 або LCO); літій-марганцеві (LiMn_2O_4); літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні (LiNiMnCoO_2 або NMC); літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4 або LFP); літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (LiNiCoAlO_2 або NCA); літій-титанові ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) та інші.

Літій-кобальтові акумуляторні батареї мають дуже високу питому енергоємність, однак, для них суттєвим обмеженням є величина струму розряду – при перевищенні рейтингу в «1С» відбувається надмірний стрес та перегрів структури. До того ж, використання таких батарей обмежується високою вартістю кобальту, середніми показниками питомої потужності, безпеки та терміну служби. Використовуються в областях, де потрібна велика ємність.



Рисунок 8 – Літій-кобальтові акумуляторні батареї серії ICR18650-26H

Літій-марганцеві акумуляторні батареї мають низький внутрішній опір, що забезпечує швидкі режими заряду/розряду – до 20...30 А з помірним теплотворенням в тривалому режимі роботи, а в імпульсному режимі (протяжність імпульсів до 1...3 с) навіть до 50 А.



Рисунок 9 – Літій-марганцеві акумуляторні батареї для електротранспорту

Для покращення експлуатаційних характеристик літій-марганцеві акумулятори комбінуються з літій-нікель-марганець-кобальт-оксидними акумуляторами. Це дозволяє підвищити питомі характеристики акумуляторів та їх термін служби. Якраз така комбінація й нашла широке використання в енергосистемах електромобілів (Nissan Leaf, Chevy Volt та BMW i3).

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні акумулятори один з найбільш успішних варіантів виконання літій-іонної електрохімічної системи. По аналогії з літій-марганцевими, такі системи можуть бути оптимізовані під ємність або потужність. Так, в одному й тому ж корпусі можна сформувати АБ з ємністю до 4000 мА×год та забезпечити силу струму розряду в 4...5 А або ємністю в 2000 мА×год зі струмом розряду в 20 А.



Рисунок 10 – Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні батареї серії Sony US18650-VTC6 3000 mAh

Головними перевагами **літій-залізо-фосфатні акумуляторів** є їх низький внутрішній опір та висока стабільність, що забезпечує високі показники сили струму та тривалий термін служби.

На даний час ці акумулятори мають найбільший попит для електротранспортних засобів, які вимагають як миттєвих форсованих режимів так і безперервної роботи зі змінним режимом навантаження. Однак, вважаючи на те, що питомі параметри даного типу акумуляторів є доволі посередніми, їх, зазвичай, використовують для професійного транспорту.



Рисунок 10 – Літій-залізо-фосфатні акумулятори виробництва Victron Energy

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні акумулятори вирізняються від інших високою питомою енергоємністю, досить доброю питомою потужністю і помірним терміном експлуатації. Їх слабкими місцями є проблеми з безпекою (перегрів) та вартість.



Рисунок 11 – Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні акумулятори серії NCR18500 (Panasonic)

По характеристикам дуже схожий до літій-кобальтових. В основному використовуються в пристроях, що вимагають високі показники ємності – джерела безперебійного живлення. Літій-титанові акумулятори є безперечними лідерами з безпеки, довговічності та низьких температур. Однак їх вартість дуже висока, а питомі показники дуже низькі.



Рисунок 12 – Літій-титанові акумулятори серії SQT-60137H

Висновки.

Проведений аналіз показує, що використання літій-іонних акумуляторів для електротранспортних засобів, в тому числі й для буксировщиків водолазів, має широкий спектр рішень.

Так, для любительських скутерів, де ціна та надійність мають основне значення, найбільш перспективними є літій-залізо-фосфатні та літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні акумулятори. Вони не мають видатних показників з питомої енергоемності, однак є досить лояльними в експлуатації й мають невелику вартість.

Для буксировальників водолазів професійного типу та спеціального призначення, з врахуванням специфіки їх роботи, найбільш перспективним є використання комбінованих літій-марганцевих з літій-нікель-марганець-кобальт-оксидних акумуляторів (LMO-NMC), а також літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (NCA). Такі АБ будуть мати максимальні питомі показники електроємності та питомої потужності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Типи літій-іонних акумуляторів (Назва з екрану) Режим доступу: <https://best-energy.com.ua/support/battery/bu-205>
2. Panasonic NCR18500 (LiNiCoAlO₂) Industrial Cell Unprotected 3.7 V Lithium Ion Battery 2000 mAh – Button-Top for Torches, Provari etc (Назва з екрану). Режим доступу: <https://www.amazon.de/-/en/Panasonic-LiNiCoAlO2-Industrial-Unprotected-Button-Top/dp/B00C1F8BE4>
3. Shengquan New Energy. Lithium Titanate Battery (Назва з екрану). Режим доступу: <https://www.sq-xny.com/en/product-13.html>

НОВІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ЗАПОБІГАННЯ ВИТОКУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА МЕЖІ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ЗОНИ

Нужний С. М.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна*

Вступ. Мова є найбільш уживаним засобом обміну інформацією. Особливе значення вона набуває при створенні та обговоренні нових та діючих проєктів. При цьому, в багатьох випадках, озвучується інформація обмеженого доступу – конфіденційна (конструкторська, економічна, організаційна, know-how та інша), а в певних випадках і таємна інформація. Таким чином, особливого значення набуває її захист.

В роботі розглянуто особливості побудови та функціонування систем захисту мовної інформації (СЗМІ) та запропоновано рішення, яке дозволяє розробляти більш ефективні системи захисту мовної інформації.

1. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розробка нової концепції створення СЗМІ від витоку акустичними та вібраційними каналами за межі контрольованої зони з урахуванням об'єктивних та суб'єктивних факторів.

Для досягнення мети в роботі були поставлені наступні завдання:

1. Сформулювати перелік об'єктивних та суб'єктивних факторів, що впливають на ефективність роботи СЗМІ
2. Запропонувати нові принципи побудови системи постановки активних завад та її вузлів

2. Аналіз факторів, що впливають на ефективність роботи системи захисту мовної інформації

Ефективність роботи СЗМІ залежить від багатьох факторів, які можна розділити на дві групи – об'єктивні та суб'єктивні.

До об'єктивних факторів віднесемо ті, що не залежать від проєктувальника і власника СЗМІ. Відповідно, суб'єктивними будуть фактори, які пов'язати тим чи іншим чином з бажаннями, кваліфікацією та можливостями проєктувальника і власника СЗМІ.

2.1. Об'єктивні фактори

Проєктування та експлуатація СМЗІ у всіх розвинених країнах відбувається в відповідності до нормативного законодавства даної країни, методів, методик та технологій, затверджених відповідними керуючими органами. Відхилення від вимог є суттєвим порушенням і має «жорсткі» реакції та наслідки – тимчасова заборона на роботу об'єкту, заборона на виконання певних функцій, адміністративна та кримінальна відповідальність керівництва об'єкту.

До об'єктивних факторів відносяться:

- Мета та задачі СЗМІ
- Структура СЗМІ
- Тактико-технічні характеристики СЗМІ

2.2. Суб'єктивні фактори

Контроль за працездатністю СЗМІ в виділених приміщеннях (ВП) є задачею спеціально виділеного підрозділу або окремого співробітника. При цьому, в більшості випадків, їх доступ в ці приміщення є суттєво регламентованим, а співробітники, що працюють в ВП не мають відповідної кваліфікації.

Таким чином можна виділити наступні суб'єктивні фактори, які мають суттєвий вплив на працездатність СЗМІ:

- Проєктувальники системи:

1. Вибір обладнання, яке встановлюється (безпосередньо тип та марка обладнання, його колір, схема включення та інше).

Аналіз показує, що в більшості випадків є можливість вибору із встановленого переліку обладнання – тобто проявляється певна суб'єктивність проектувальника

2. Кваліфікованість та компетентність проектувальника, які проявляються при оптимізації структури СЗМІ та виконання певних вимог замовника робіт.

Досвід показує, що при створенні комплексних систем захисту інформації, зазвичай є певний надлишок кількості та можливостей певних елементів обладнання. Замовник може вимагати змінити певні можливості обладнання (наприклад, може вважати, що система акустоконтролю рівня звукового тиску в ВП є засобом підслуховування та інше)

3. Забезпечення паритету між ергономікою ВП і вимогами нормативних документів до СЗМІ.

– Співробітники, що працюють в ВП:

1. Порушення вимог персоналом ВМ організаційних заходів при виконанні технологічного процесу

2. Частина персоналу ВП, зазвичай, має низький рівень знань та компетентностей з інформаційної безпеки:

– Співробітники спеціально виділеного підрозділу (наприклад, відділу захисту інформації – ЗІ) або відповідальний співробітник (група ЗІ):

1. Недостатня кваліфікація співробітників

В відповідності до вимог ДССЗІ України [6], кадрове комплектування відділів/груп ЗІ повинно відбуватись виключно спеціалістами, що мають профільну освіту. Однак, в багатьох організаціях та державних установах, посилаючись на недофінансування та відсутність бажаних, відповідні посади займають співробітники без відповідної фахової освіти

2. Неналежне виконання співробітниками своїх обов'язків

Аналіз показує, що в багатьох організаціях та державних установах основним навантаженням співробітників відділів/груп ЗІ є супровід роботи комп'ютерної та оргтехніки, а не проведення заходів по забезпеченню захисту інформації на об'єкті

3. Варіант побудови системи постановки активних завад та її вузлів

Аналіз сучасних методів та технологій виявлення і відновлення мови диктора при значних рівнях шумових завад (як типу білий (гаусовий) шум [3,4,7] та і при використанні завад типу «мовний хор» / «cocktail party» [1,2]) показує їх високу ефективність. Одночасно, це показує низьку ефективність методів та технологій, які є нормативними на даний час, а також недоліки методів визначення рівня захищеності мовної інформації [7–9].

Таким чином, для створення дійсно ефективної системи необхідно використати обмеження, які є в розглянутих метода виявлення, фільтрації завади та відновлення мовного сигналу.

3.1. Альтернатива для білого (гаусового) шуму

Перевагами білого шуму є рівномірність спектральної щільності на всьому діапазоні частот. При цьому самі частоти спектру є випадковими, тобто постійно змінюються. Це стало основною перевагою білого шуму та сприяло його використанню в системах постановки завад.

Однак, при використанні вейвлет- фільтрації [7–9,11], двійкових масок (IBM, IRM) [3,4] та інших методів, заснованих на видаленні випадкових імпульсних сигналів, це і є його головною вадою. Для аналізу використовують віконне перетворення (по октавним смугам) на середньотермінових відрізках часу, співставних з тривалістю фонем/алюфонів в людській мові – 0,05...0,25 с.

Таким чином, використання сигналу, який по спектральній щільності був би близьким до білого шуму та створеного на базі модифікованих блоків мови диктора, дає змогу отримати заваду, до якої вказані методи фільтрації є індиферентними.

В загальному вигляді, це є перехід від енергетичного маскування мовного сигналу до інформаційно-енергетичного маскування.

Прикладом такого сигналу маскування є завада «скремблерного» типу, синтез та використання якої розглянуто в [7–10].

3.2. Альтернатива для «мовного хору» / «cocktail party»

Головним принципом, який використовується при синтезі сигналу завади типу «мовний хор» / «cocktail party», є інформаційне маскування. Його принцип заснований на властивостях людського слуху виділяти основного диктора із «мовного хору» при $SNR \geq 0$ дБ. Якщо співвідношення SNR знаходиться в діапазоні $-5 \text{ дБ} \leq SNR \leq 0 \text{ дБ}$, то відбувається різке погіршення розбірливості мови (сприйняття аудитором мовної інформації). Подальше зменшення SNR призводить до повного маскування мови диктора [12,13].

На практиці розрізняють два типи таких систем [7.8]:

1. «Мовний хор» на основі мови диктора (дикторозалежні системи)
2. Залучення фонограм сторонніх дикторів (дикторонезалежні системи)

Синтез шумової завади за методами «мовний хор» / «cocktail party» створює значні труднощі для зловмисника. На даний час існує декілька методів фільтрації та відновлення мовного повідомлення, втім всі вони потребують значної обчислювальної потужності. Цей показник зазвичай був вирішальним при визначенні можливості доступу зловмисника до інформації, однак поява швидкісного інтернету та майнінгових ферм фактично знівелювало його вагомість.

Вирішенням проблеми є створення для експертної системи конкурентної невизначеності в наслідок наявності великої кількості середньотривалих фонемних блоків створених з мови диктора за деякий попередній проміжок часу.

Такі характеристики має запропонована в [9] система захисту мовної інформації на основі генератора мовоподібного сигналу завади скремблерного типу.

3.3. Особливості побудови системи постановки активних завад та її вузлів

При створенні системи постановки активних завад необхідно врахували наступні чинники:

- Наявність в ВП системи озвучування приміщення

Такі системи встановлюють в кімнатах проведення перемовин, актових залах, тощо. Наявність такої системи дозволяє інтегрувати її з системою постановки активних завад. Структура такої системи представлена в [9].

В разі її відсутності постає задача узгодження структури та місць розміщення її елементів в приміщенні. При цьому набуває значення наступний чинник.

- Психологічний фактор

Постійне акцентування уваги на питаннях кіберзлочинності, а саме на можливості використання мікрофонів та камер смартфонів для шпіонажу за власниками, створили ефект необґрунтованої підозрливості у багатьох людей. Це призводить до неадекватних реакцій на малогабаритні мікрофони в системах захисту мовної інформації (наприклад, в [9] блок контролю рівнів небезпечних сигналів).

Вирішенням цієї проблеми може бути:

1. Використання прихованих мікрофонів, які встановлені безпосередньо в корпусі СЗМІ
2. Використання мікрофону (спікеру), який вбудований в систему внутрішнього зв'язку
3. Використання акустичних і вібраційних вимірювачів небезпечних сигналів на межі ВП (контрольованої зони) [9]

При використанні першого та другого варіантів можливе виникнення інцидентів, пов'язаних з можливістю доступу до таких приладів сторонніх людей. Третій варіант надає більший рівень захищеності, однак має суттєво більшу вартість.

Висновки.

На основі використання методів системного аналізу (абстрагування, експертної оцінки, формалізації та ін.) набули подальшого розвитку методи побудови перспективних систем протидії витоку мовної інформації, яка озвучується на об'єктах інформаційної діяльності, акустичними та вібраційними каналами, що дозволило сформулювати перелік об'єктивних та суб'єктивних факторів, що впливають на ефективність роботи СЗМІ на основі систем постановки активної завади.

Запропонувати нові принципи побудови системи постановки активних завад та її вузлів

шляхом використання в системі постановки активних акустичних та вібраційних завод генераторів мовоподібного сигналу скремблерного типу, що дає змогу розробляти системи захисту мовної інформації, стійких до її відновлення методами фільтрації та реінжинірингу.

Література

1. Xianhui, Wang, and Li Xu «Speech perception in noise: Masking an unmasking». *Journal of Otology* 16 (2021), 109 – 119. Doi:10.1016/j.joto.2020.12.001
2. Jayaganesh Swaminathan, Christine R. Mason, Timothy M. Streeter, Virginia Best, Elin Roverud and Gerald Kidd Jr. «Role of Binaural Temporal Fine Structure and Envelope Cues in Cocktail-Party Listening». *Journal of Neuroscience* 36 (31) (2016), 8250 – 8257 Doi:10.1523/JNEUROSCI.4421-15.2016
3. Simone Graetzer and Carl Hopkins, «Intelligibility prediction for speech mixed with white Gaussian noise at low signal-to-noise ratios», *The Journal of the Acoustical Society of America* 149 (2021), 1346 – 1362 Doi:10.1121/10.0003557
4. Graetzer, Simone & Hopkins, Carl. «Comparison of ideal mask-based speech enhancement algorithms for white noise and low mixture signal-to-noise ratios», *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics 9 to 13 September 2019 in Aachen, Germany*. Doi: 10.18154/RWTH-CONV-239141
5. Snouden, E. «Лічное дело». Москва: Эксмо, 410. (2020). Available at: <https://readli.net/edvard-snouden-lichnoe-delo/>
6. Nakaz Administratsiyi Derzhspetszv'yazku vid 19.06.2015 roku № 023
7. Blintsov, V., Nuzhniy, S., Parkhuts, L., Kasianov, Y. «The objectified procedure and a technology for assessing the state of complex noise speech information protection». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (95)), (2018). 26 – 34. Doi: 10.15587/1729-4061.2018.144146
8. Nuzhnyy, S. M. «Improved technology of evaluation of stage of protection of license information». *Modern Information Security*, 1 (33), (2018). 66–73. Available at: <http://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/1796>
9. Blintsov, V., Nuzhniy, S., Kasianov, Y., Korytskyi, V. «Development of a mathematical model of scrambler-type speech-like interference generator for system of prevent speech information from leaking via acoustic and vibration channels». *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (2 (49)), (2019). 19–26. Doi: 10.15587/2312-8372.2019.185133
10. Blintsov, V., Nuzhniy, S., Kasianov, Y., & Korytskyi, V. «Mathematical model of the system of active protection against eavesdropping of speech information on the scrambler generator». *Eureka: Physics and Engineering*, (3), (2020). 11-22. Doi:10.21303/2461-4262.2020.001241
11. Renevey, P., Drygajlo, A. «Entropy based voice activity detection in very noisy conditions». In *EUROSPEECH – 2001*, (2001). 1887–1890. Available at: https://www.isca-speech.org/archive/archive_papers/eurospeech_2001/e01_1887.pdf
12. Brungart D. S. «Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers». *The Journal of the Acoustical Society of America* 109 (3), (2001). 1101–1109. Doi:10.1121/1.1345696
13. Brungart, D. S., Simpson, B. D. «The effects of spatial separation in distance on the informational and energetic masking of a nearby speech signal». *The Journal of the Acoustical Society of America*. 112 (2), (2002). 664-676. Doi: 10.1121/1.1490592
14. Prodeus, A. M., Vityk, A. V., & Didenko, D. Y. Sub'ektivne otsinyuvannya yakosti i rozbirlivosti movnikh signalov, spotvorenikh sintezovanymi shumami. *Mikrosistemi, Yelektronika i Akustika*, 22 (6), (2017). 56–63. Doi: 10.20535/2523-4455.2017.22.6.101929
15. Zverev V.A. «Slepaya dereverberatsiya rechevogo signala». *Akusticheskiy zhurnal*, 54, 2, (2008). 307-314. Available at: http://www.akzh.ru/pdf/2008_2_307-314.pdf
16. Wang, Quan; Muckenhirn, Hannah; Wilson, Kevin; Sridhar, Prashant; Wu, Zelin; Hershey, John; Saurous, Rif; Weiss, Ron; Jia, Ye and Moreno, Ignacio. «VoiceFilter: Targeted Voice Separation by Speaker-Conditioned Spectrogram Masking». (2018). Available at: <https://arxiv.org/pdf/1810.04826.pdf>

УДК 629.5.023

USE OF INFORMATION MODEL OF PROVIDING TECHNOLOGY IN THE INITIAL STAGES OF VESSEL DESIGN

Yahlytskyi Y.K.

*Kherson educational and scientific institute of
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
(Ukraine)*

Kyrychenko K.V.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Introduction. Modern shipbuilding is characterized by a high level of competition, which forces serial shipyards to continuously improve their products, increase the requirements for product quality, minimize the cost of technical training and reduce the production cycle [1, 2]. At the same time increases the complexity of ship designs and ships in general in order to reduce material consumption and weight of the product. Methods for determining the strong dimensions of ship hulls using innovative materials are also being improved, the technology and organization of shipbuilding are being improved, and automated information systems are increasingly being used in the design and technological preparation of production.

The relevance of research. Recently, the focus of work on ensuring the manufacturability of structures is shifted to the design stages, where most of the technical characteristics are formed and economic indicators of competitiveness and cost of the product are laid [3]. Research of the process of ensuring manufacturability and at the stages of ship design provides an opportunity for a comprehensive and competent solution to this problem.

Problem formulation. It is necessary to provide information support for the processes of technology management at the stage of development of the technical task and architectural and structural scheme of the vessel.

Research results. The properties of many structural, functionally and geometrically connected objects of the ship determine the possibility of considering its hull as a complex system H ("Hull"). System H is part of a more complex system V ("Vessel"), which, in turn, is part of an even more complex system N ("Navy"), etc. [4]. Each system is characterized by such features as purpose, structure and behavior (fig. 1).

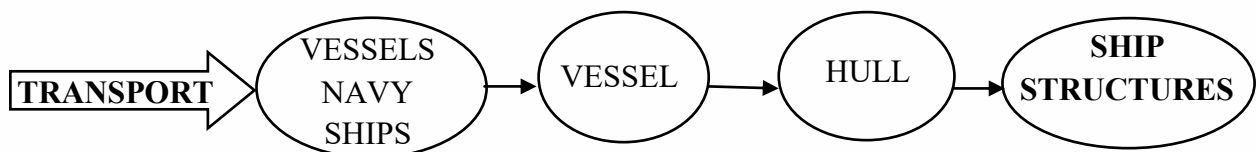


Figure 1 – Hierarchy of systems

The purpose of system K is to ensure the functioning of the entire system V in difficult, irregular conditions of operation of the vessel, with the established service life of the vessel (ensuring the reliability and operation of the vessel).

The behavior of system V or the process of its operation throughout its service life from the appearance of the technical task to the decommissioning and dismantling of the ship - is the process of design, construction and operation of a more complex system.

System K can be characterized by different properties, but, as a rule, the main ones are: functionality, reliability, manufacturability, optimality, economy. Structures in this system are considered as an object characterized by a set of parameters. Selecting the appropriate

parameters, the designer within the limits within it organizes the system V and controls the behavior of this system. The property of the manufacturability of the modern hull design should be taken into account at the stage of early design to predict all the ratios of the following systems, their demand and cost of production.

At present, the system support of manufacturability of ship designs includes information support, which creates conditions for greater efficiency of work carried out by specialists [5].

For effective information modeling of the processes of testing the manufacturability of ship structures, the design cycle can be divided into stages that roughly correspond to the generally accepted division of the design process at the stage:

- development of the technical task and the structural scheme of the vessel (development of the technical task and technical proposal);
- development of schematic diagrams at the level of individual ship modules (development of a preliminary design);
- development of ship structures (development of technical design and working documentation) [6-10].

The conducted researches at the considered stages show existence of active processes of formation of manufacturability. With this in mind, for more effective management of information flows of design decisions, it is necessary to use information modeling, which allows to present processes in the form of a set of standard modules with defined rules of operation, input and output parameters, control data and mechanisms of technology. The systematic analysis of existing processes based on their modeling and optimization allowed to develop a conceptual model of promising processes, which provided unambiguous and adaptive processes of ship design for manufacturability, as well as designing an information system to ensure manufacturability of products with electronic data exchange. The approaches of the SADT (Structured Analysis & Design Technique) functional modeling methodology, which are described in [11], were used in the construction of the models.

The process of developing a ship design begins with the Customer's application, which contains the initial basic technical and operational requirements for the vessel. These include: purpose, operating conditions, as well as the number of vessels required by the Customer. The technical task on the basis of studying the expected nature of ship operation, generalization and analysis of experience and trends in world shipbuilding develops and refines basic technical and operational requirements data in terms of the best indicators of manufacturability, cost, complexity, etc.

At the stage under consideration, it is possible only to determine the approximate level of cost on the basis of specific indicators of material and labor costs for different types of prototype vessels. The choice of a prototype vessel mainly determines the boundaries of standard and unified parts and assembly units, their succession. Analysis of the operating conditions of the future design allows to formulate requirements for operational manufacturability, thereby determining the degree of manufacturability in the field of production, as these elements are embedded in the production manufacturability.

The choice of each architectural and structural scheme of the ship is a complex engineering and economic search, which allows you to choose the best option with the expected manufacturability.

Conclusions. The problem of qualitative assessment of manufacturability in the early stages of design is, firstly, to be able to reliably measure the intensity of factors affecting manufacturability in conditions of limited product information and, secondly, to find a way to model an expert evaluation system that corresponds to generalized indicator of the designed equipment. Studies have shown that between these stages of ship design there are intensive information flows, qualified processing of which contributes to the qualitative and quantitative analysis of the ship and its structures to improve the level of manufacturability.

REFERENCES

1. Рижков С.С. та ін. Інноваційні технології проектування та побудови суден і засобів океанотехніки. Миколаїв. – 356 с.
2. Логачев С.И., Чугунов В. В. Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития. СПб., 2009. – 312 с.
3. Егоров Г.В. Основы проектирования конструкций корпусов судов ограниченных районов плавания нового поколения. Зб. наук. пр. НУК., Миколаїв, 2004, 5 (398). С.13-25.
4. Васильев А.Л. Вопросы проектирования конструкций корпуса судов. Системы набора перекрытый корпуса. Выбор шпации. СПб, 2000. – 64 с.
5. Попов А.М. Моделирование сборочной технологичности конструкции изделий в интегрированных САПР. Вестник ДГТУ, 2012, 1(62). – С. 99-108.
6. Яглицький Ю.К. Використання інформаційних моделей для забезпечення технологічності конструкцій судна на етапах проєктування. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, 2021, 3 (486). – С. 25-31.
7. Яглицький Ю. К. Технологічність корпусних конструкцій. Миколаїв: НУК, 2012. – 224 с.
8. Яглицький Ю.К., Бичуев В.И. Совершенствование технологических процессов в корпусных производствах современной верфи. Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв: НУК, 2017. – С. 145-147.
9. Яглицький Ю. К. Підготовка виробництва в суднобудуванні з використанням інформаційних технологій. Миколаїв: НУК, 2018. – 300 с.
10. Яглицький Ю.К. Системная организация процесса обеспечения технологичности конструкций. Вісник Одеської Державної академії будівництва та архітектури. Одеса: Атлант, 2016. Вип. 63. – С. 266 – 272.
11. Черемных С. В., Семенов И. О., Ручкин В. С. Моделирование и анализ систем: IDEF-технологии. М., 2008. – 192 с.

УДК 621.313.12

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМ КРАНОМ ТИПУ «MACGREGOR»

О.К. Колебанов, к.т.н., доцент,

Херсонська державна морська академія

Ю.О. Лебеденко, к.т.н., доцент,

Херсонський національний технічний університет

Анотація: Для приводу механізмів суднових кранів балкерів широке поширення набули електрогідравлічні приводи, в яких навантаженням двигуна зазвичай є аксіально-плунжерна гідромашина. Метою досліджень є розробка комп'ютерної моделі гідроелектропривода суднового крану типу «Mac Gregor», що дозволить виконувати аналіз процесів в об'єкті керування та визначати ступінь впливу параметрів налаштувань на динамічні та точнісні характеристики системи керування. Дві підсистеми зміни вильоту стріли і повороту разом з іншими входять в загальну гідравлічну систему суднового крана і мають деякі загальні елементи, такі як насос і гідробак, однак для спрощення опису, створення і налагодження Simulink-моделей розглянуті як дві окремі гідросхеми.

Поєднавши два зазначених блоку паралельно, отримано модель трипозиційного гідророзподільника зі зливом рідини в бак в нейтральному положенні.

Ключові слова: суднові крани, гідроелектропривід, гідравлічна система, гідророзподільник, комп'ютерна модель.

INVESTIGATION OF MACGREGOR VESSEL CRANE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

O. Kolebanov, Ph.D., Associate Professor,

Kherson State Maritime Academy

Yu. Lebedenko, Ph.D., Associate Professor,

Kherson National Technical University

Abstract: Electro-hydraulic drives, in which the motor load is usually an axial-plunger hydraulic machine, have become widespread for the drive mechanisms of ship cranes. The aim of the research is to develop a computer model of the hydroelectric drive of the ship crane type "Mac Gregor", which will analyze the processes in the control object and determine the degree of influence of the settings on the dynamic and accurate characteristics of the control system. Two subsystems of change of boom departure and turn together with others are included in the general hydraulic system of the ship crane and have some general elements, such as the pump and a hydraulic tank, however for simplification of the description, creation and adjustment of Simulink-models are considered as two separate hydraulic schemes.

Combining these two units in parallel, we obtained a model of a three-position valve with draining the liquid into the tank in the neutral position.

Keywords: ship cranes, hydroelectric drive, hydraulic system, hydraulic distributor, computer model.

Вступ. На сучасних суднах, зокрема контейнеровозах та балкерах, часто передбачається самостійне вивантаження за допомогою кранів, встановлених на палубу корабля. Суднові крани призначені для підйому, спуску або переміщення контейнерів, сипучих та інших вантажів, зокрема предметів постачання і продовольства [1]. Перевага кранів полягає в можливості негайного, якщо це необхідно, проведення робіт. Наприклад, головною особливістю балкерів одного з найпоширеніших нині типів Handymax є власні крани, вантажопідйомністю в середньому 30 тон, що дозволяють їм

здійснювати вантажні роботи дешевше і в портах, де не передбачені вантажні засоби для завантаження / розвантаження балкерів. Ці пристрої надають балкер такого типу велику гнучкість, дозволяючи вибирати для вантажних робіт практично будь-який порт, а іноді і на рейді порту. Для приводу механізмів суднових кранів широке поширення набули електрогідравлічні приводи, в яких навантаженням двигуна зазвичай є аксіально-плунжерна гідромашина.

Аксіально-плунжерна гідромашина палубного крана має зростаючу механічну характеристику, або характеристику з вентиляторним моментом [2]. Через те, що при малих значеннях швидкості момент опору навантаження гідромашини значно менше номінального, її пуск може бути виконано на зниженій напрузі живлення електричного двигуна [3].

Таким чином, на ефективність процесів керування переміщенням вантажу, на динамічні і точнісні характеристики суднового крана впливає не тільки система керування електричним приводом, а, насамперед, налаштування гідравлічної підсистеми, що викликає певні складнощі при експлуатації.

Метою досліджень є розробка комп'ютерної моделі гідроелектропривода суднового крану типу «Mac Gregor», що дозволить виконувати аналіз процесів в об'єкті керування та визначати ступінь впливу параметрів налаштувань на динамічні та точнісні характеристики системи керування.

Основна частина. Гідравлічний привід сучасних суднових вантажних пристроїв досить складний, і моделювання всього приводу в повному обсязі потребує значних зусиль і витрат часу, тому для навчальних цілей в якості прикладу розглянемо окремі частини від повної схеми приводу, призначені для виконання окремих функцій.

Розглянемо гідропривід суднового крана типу «Mac Gregor» [4]. Принципова гідравлічна схема цієї машини створена на основі двох основних типових схем, а саме: схеми поступального руху, в якій вихідним елементом є гідроциліндр (підсистеми зміни вильоту стріли та повороту платформи) (рис. 1), і схеми обертального руху, в якій вихідним елементом є гідромотор (підсистема підйому-опускання вантажної лебідки).

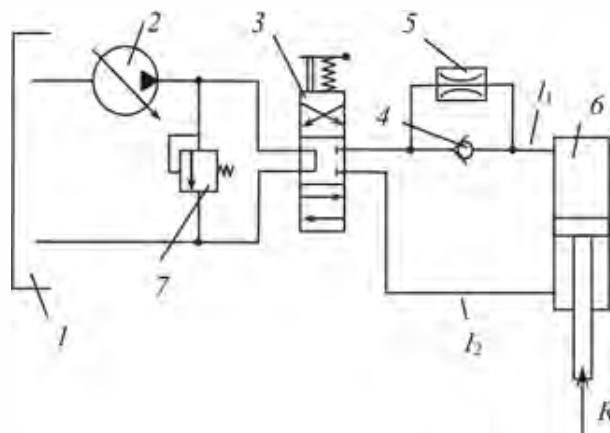


Рис. 1 – Принципова спрощена гідросхема підйому-опускання стріли суднового крана

Механізми зміни вильоту стріли за умовами роботи близькі до механізмів повороту. Обмеження розгойдування вантажу також необхідно, як і для

механізму повороту. Тому вимоги до швидкісних характеристик механізмів зміни вильоту стріли і повороту аналогічні.

Ці дві підсистеми разом з іншими входять в загальну гідравлічну систему суднового крана і мають деякі загальні елементи, такі як насос і гідробак, однак для спрощення опису, створення і налагодження Simulink-моделей розглянемо їх як дві окремі гідросхеми. В подальшому ці дві Simulink-моделі можуть бути об'єднані [5].

Simulink-модель гідроприводу підйому-опускання стріли суднового крана (рис. 2) була створена у вигляді підсистеми, що має входи і виходи для взаємодії з підсистемами більш високого рівня в загальній Simulink моделі суднового крана, аналогічно докладно описаній в [6].

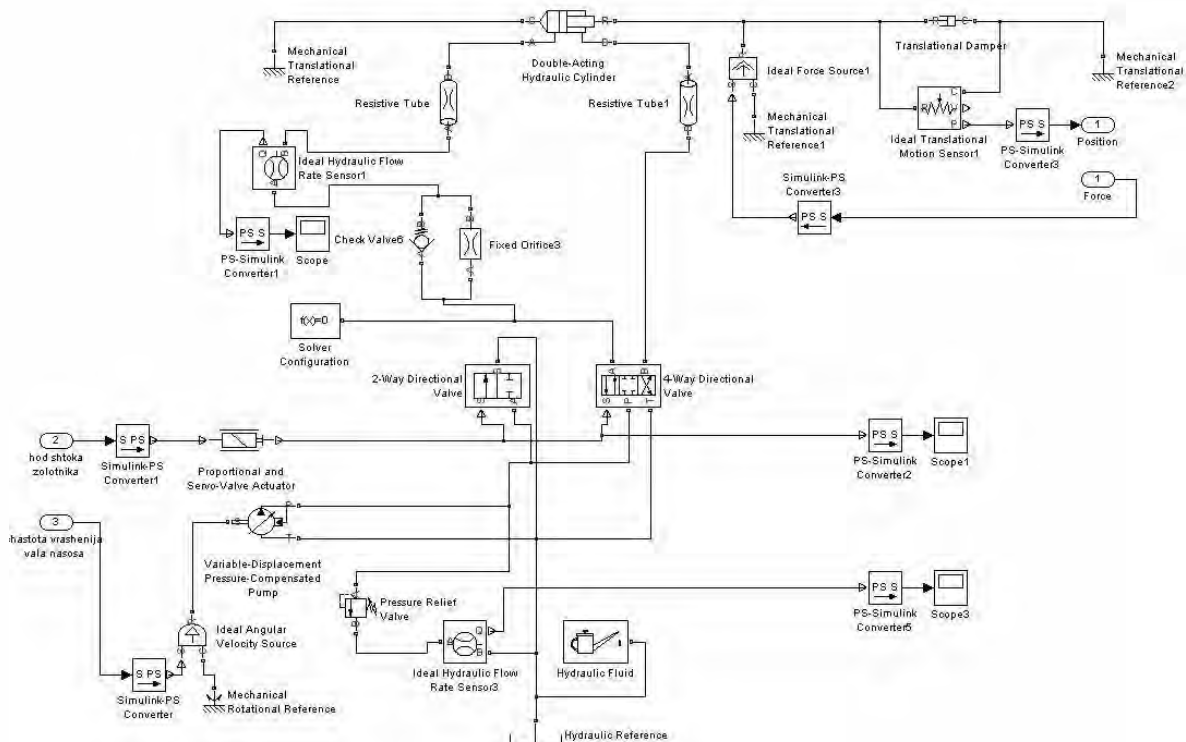


Рис. 2– Simulink-модель гідроприводу підйому-опускання стріли суднового крана

В якості вхідних інформаційних параметрів підсистеми гідроприводу виступають: зусилля на штоку гідроциліндра з боку стріли «Force» (вхідний порт 1); ідеальний закон переміщення штока золотника гідророзподільника «hod shtoka zolotnika» (вхідний порт 2); частота обертання валу приводу гідронасоса, що визначається величиною оборотів двигуна суднового крана «chastota vrasheniya vala nasosa» (вхідний порт 3). Вихідним параметром є переміщення штока гідроциліндра «Position» (вихідний порт 1).

Структура наведеної на рис. 2 моделі підсистеми гідроприводу обумовлена такими міркуваннями: для моделювання трипозиційного гідророзподільника зі зливом рідини в бак в нейтральному положенні, готовий блок якого відсутній в бібліотеці «SimHydraulics», були використані два наявних стандартних блоку гідророзподільників «2-Way Directional Valve» і «4-Way Directional Valve». Поєднавши два зазначених блоку паралельно, отримано

модель трипозиційного гідророзподільника зі зливом рідини в бак в нейтральному положенні. При цьому необхідно, щоб гідравлічні характеристики золотників двох гідророзподільників були узгоджені між собою. Тобто, коли в нейтральному положенні гідравлічні канали блоку 4-Way Directional Valve замкнені (золотник закритий, розмір щілини нульовий), в цей же час канали блоку 2-Way Directional Valve повинні бути з'єднані (золотник відкритий, рідина йде на злив).

Розглянемо взаємодію підсистеми гідроприводу циліндра з підсистемою більш високого ієрархічного рівня - підсистемою стріли суднового крана.

Параметр на виході підсистеми гідроприводу – переміщення штока гідроциліндра «Position» – повинен бути перетворений в кут підйому стріли q_8 (точніше, в його «рівноважний» значення, навколо якого відбуваються коливання фактичного значення кута підйому стріли з урахуванням пружності її конструкції). Це перетворення виконується за формулою:

$$q_8 = \varphi - \varphi_0 = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right) - \varphi_0, \quad (1)$$

де $\varphi_0 = \text{const}$; $a = \text{const}$; $b = \text{const}$; $c = \text{Position} + 2,5 \text{ м}$ – довжина гідроциліндра.

Назад в підсистему гідроприводу повинні передаватися значення: частоти обертання валу насоса «chastota vrasheniya vala nasosa» (в даній моделі приймає постійне значення), ідеального закону переміщення штока золотника, відкриває і закриває подачу гідрорідини «hod shtoka zolotnika» і зусилля на штоку гідроциліндра Force [7].

Висновки. Розроблена комп'ютерна модель гідроелектроприводу судного крана типу Mac Gregor дозволяє проводити дослідження процесів, що виникають при експлуатації систем керування судновими палубними кранами, проводити аналіз ступеня впливу параметрів налаштувань на точності та динамічні властивості системи керування гідроелектроприводом. Все це дозволить значно скоротити час на проведення технічного обслуговування, налагоджувальних робіт та діагностики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Топалов В.П. Забезпечення безпечної експлуатації контейнеровозів / В.П. Топалов, В.Г. Горский – 2-е видання, Одеса, 2002. – 224с.
2. Лепешкин А.В. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник, ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. / А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин, А.А. Шейпак. Под ред. А. А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.
3. Головин Ю. К. Судовые электрические приводы. Учебник / Ю.К. Головин – М. : Транспорт, 1991. – 328 с.
4. Deck Crane MacGregor GLH45016/MLC/20030-3. Instruction Manual. 2012 – 690 pp.
5. Руппель А.А. Моделирование гидравлических систем в MATLAB: учебное пособие. / А.А. Руппель, А.А. Сагандыков, М.С. Корытов – Омск: СибАДИ, 2009. – 172с.
6. Щербаков В.С. Моделирование и визуализация движений механических систем в MATLAB: учебное пособие / В.С. Щербаков, М. С. Корытов, А.А. Руппель, В.А. Глушец, С.А. Милушенко – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 83 с.
7. Лазарев Ю.Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс / Ю. Ф. Лазарев – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.

УДК 629.58

ПИТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ І СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В УКРАЇНІ

Бабкін Г.В.

*к.т.н., доцент НУК, Національний університет
кораблебудування ім. адм. Макарова*

Історія появи та розвитку підводної робототехніки у Світі нараховує маже 40 років. За цей час відбулися значні зміни у засобах и методах створення та застосування морських робототехнічних систем та комплексів. Значне зростання попиту на застосування засобів морської робототехніки (ЗМР) для вирішення науково-дослідних та практичних завдань в різноманітних галузях. Отриманий досвід полягає у створенні більш досконалих систем, комплексів та технологій для вирішення завдань в складних підводних умовах.

Не зважаючи на те, що а даний час у напряму створення ЗМР отримані значні результати, застосування таких технічних засобів програє використанню традиційних морських технічних засобів та технологій. Таки засоби вже використовуються майже у всіх цивільних та військових видах діяльності на морі. Світовий досвід застосування ЗМР дозволяє зробити висновок, що без їх застосування не можливий розвиток добувної галузі на шельфової зоні, проведення обстежувальних робіт на акваторіях, виконання рятувальних та пошукових операцій, гідрофізичних та біологічних досліджень у широкому діапазоні глибин. Основною перевагою застосування ЗМР для виконання робіт на морі є відсутність загрози життю та здоров'ю людини та час виконання підводної роботи, якій обмежений лише запасом енергії. Тільки за останні 40 років у даному напрямі науково-технічної діяльності створено понад 10 тисяч зразків ЗМР які вирішують широке коло завдань.

Сучасні зразки ЗМР є окремим класом робототехнічних засобів для якого характерні власні завдання, технології застосування, склад систем та особливості створення. Але, не зважаючи на те, що у даному напрямі науково-технічної діяльності вже на сьогоднішній час отримані значні результати, висловлюватись про те, що цей вид діяльності вже сформував окрему промислову галузь, ще зарано. Причина цього полягає у тому, що досягнуті наукові результати носять розрізнений характер, тобто найчастіше кожен науковий результат стосується окремого елемента ЗМР, не торкаючись інших частин системи або ЗМР у цілому. Як наслідок цього – значні витрати коштів та часу на створення ЗМР та їх низьку конкурентоздатність порівняно до традиційних морських технічних засобів та технологій застосування.

На підставі вище викладеного можливо сформулювати наукову проблему, яка полягає у тому, що створення ЗМР в інтересах України і зовнішнього ринку вимагає підвищення їх конкурентоздатності.

Для вирішення цієї наукової проблеми можливо використати декілька традиційних шляхів:

- скорочення термінів проектування;
- підвищення обсягів створення ЗМР;
- підвищення якості ЗМР;
- скорочення витрат на створення ЗМР;
- бенчмаркінг.

Підвищення обсягів створення ЗМР можливо не розглядати як шлях для вирішення тому, що частіш за все, у світової практиці ЗМР створюються одиничними, дослідними зразками під конкретні завдання, вирішення яких з застосуванням традиційних технічних

засобів або технологій неможливо. Але не зважаючи на зростання попиту на даний вид технічних засобів все ще програє.

Підвищення якості також не допоможе вирішенню наукової проблеми тому, що створені зразки ЗМР залишаються на рівні дослідного зразка і всі виявлені недоліки конструкції можуть бути враховані лише у наступному проекті.

Бенчмаркінг не спрацює завдяки тому, що досвід зі створення ЗМР у всіх, хто займається цією діяльністю, знаходиться приблизно на одному рівні.

Тому вирішення наукової проблеми створення конкурентоздатних ЗМР можливо лише з використанням останніх двох шляхів: скорочення термінів проектування та скорочення витрат на створення.

Для вирішення цієї наукової проблеми була сформульована гіпотеза, яка передбачає використання для створення ЗМР сучасних інформаційних технологій, математичного моделювання та автоматизованого виробництва на кожному з етапів проектно-конструкторських та будівельних робіт.

Концепція розв'язання сформульованої наукової проблеми може містити два шляхи реалізації, які базуються на двох відомих та апробованих технологіях:

- Building Informational Modeling, скорочено BIM [1];
- адаптована концепція Shipbuilding 4.0, на підставі Industry 4.0 [2].

Використання BIM технології передбачає повний перехід від фізичного та «гібридного» моделювання до математичного, об'єднання розрізаних математичних моделей елементів ЗМР в єдину комплексну модель з використанням: віртуальних прототипів, чисельного моделювання та результатів натурних випробувань, комплексні бази даних елементів ЗМР зі всіма відомими характеристиками елементів, поєднаних загальним програмним забезпеченням з елементами штучного інтелекту. Тобто створити інформаційно-моделюючий програмний комплекс (ІМПК).

Для створення ефективного ІМПК який вирішує проектні завдання необхідно сформулювати систему критеріїв, за допомогою яких ІМПК буде приймати рішення по формуванню складу ЗМР, а головний конструктор оцінювати результат його роботи.

Застосування сучасних інформаційних технологій під час проектування ЗМР робить процес більш ефективним та скорочує час проектно-конструкторських робіт порівняно з традиційними способами проектування. Досягається це за рахунок того, що такий спосіб передбачає не роботу з документацією в її класичному розумінні, а з комплексами програм, які генерують модель і всі необхідні для виробництва на верстатах з ЧПК файли, а потім самі ними розпоряджаються. Завдяки чому на першому етапі проектування є можливість отримати орієнтовну, не оптимізовану конструкцію майбутнього ЗМР і заощадити час та інші ресурси проекту.

Другий шлях передбачає повну цифровізацію процесу виробництва ЗМР шляхом впровадження в виробничий процес елементів роботизованого керування та виробництва. Враховуючи, що ЗМР частини за все створюється одиничними зразками, витрати на процеси управління виробництвом та технологічної підготовки виробництва співмірні з витратами на саме виробництво. Застосування для виготовлення елементів та вузлів ЗМР автоматичних оброблювальних центрів та верстатів з ЧПК скорочує витрати на виготовлення зразка ЗМР.

Висновки: Сформульовані концептуальні шляхи впровадження цифрових інформаційних технологій як реалізації гіпотези для успішного розв'язку наукової проблеми створення конкурентоздатних ЗМР.

Список використаної літератури

1. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий : учебное пособие. – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Липкин Евгений. Индустрия 4.0: Умные технологии - ключевой элемент в промышленной конкуренции. – М.: Остек-СМТ, 2017. – 224 с.

УДК 629.05

АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ СТВОРЕННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В ІНТЕРЕСАХ УКРАЇНИ

Блінцов В.С.

д.т.н., професор, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

До сучасних засобів морської робототехніки (ЗМР) відносяться безкіпажні надводні судна (БНС, в англійській літературі – unmanned surface vessel, USV), автономні не населені підводні апарати (АНПА, в англійській літературі – autonomous underwater vehicles, UUV), не населені самохідні прив'язні та буксирні підводні апарати (ППА, в англійській літературі – remotely operated vehicles, ROV та towed underwater vehicle, TUV), а також безпілотні літальні апарати (БПЛА, в англійській літературі – unmanned aerial vehicles, UAV) морського базування чи застосування.

Глобальний ринок ЗМР за останні роки розвивається досить активно. Так, світовий ринок АНПА у 2020 році приніс дохід виробникам такої техніки у розмірі \$4,1 млрд. [1]. Ринок стимулюється за рахунок зростаючих потреб в устаткуванні для забезпечення морської безпеки, вдосконалення систем підводної інспекції та збільшення витрат урядів на закупівлю дронів.

Головними виробниками ЗМР є наступні провідні світові компанії:

- Lockheed Martin, Teledyne Technologies, Oceanering International, Oceanserver Technology, Boeing (всі - США);
- Kongsberg Gruppen (Норвегія);
- Saab AB (Швеція);
- Subsea 7 (Люксембург);
- Шеньянський інститут автоматизації (КНР).

До основних напрямків застосування ЗМР у провідних морських країнах світу відносяться:

- природоохоронні задачі;
- задачі промислового будівництва на шельфі;
- аварійно-рятувальні роботи;
- задачі з пошуку та видобування сировинних та мінеральних ресурсів;
- задачі з вивчення Світового океану;
- підводна археологія;
- оборонні задачі.

Актуальність розробки, створення і впровадження ЗМР в Україні підтверджується низкою міжнародних документів та рішеннями Президента й Уряду України. Варто відзначити деякі з них, зокрема:

проголошенням у 2017 р. Генеральною Асамблеєю ООН Десятиліття наук про океан в інтересах стійкого розвитку (2021-2030 гг.), спрямованого на стимулювання науки про Світовий океан і накопичення знань із метою зупинення тенденції до погіршення стану океанської екосистеми й стимулювання нових можливостей для її збереження та стійкого розвитку [2];

указами Президента України та постановами Уряду України щодо необхідності розвитку роботизованих морських технологій [3];

наявністю у складі МОН України науково-дослідного судна «Ноосфера», призначеного для дослідження Світового океану і, зокрема, Антарктиди [4];

підготовкою в НУК вітчизняних і зарубіжних фахівців за напрямком “Sea Robotics” згідно одному зі стратегічних напрямків розвитку вищої освіти в Україні [5].

Крім того, територіальні води України містять значну кількість артефактів, для обстеження та підйому яких необхідним є залучення ЗМР [6].

Очевидно, що розвиток вітчизняної морської робототехніки має ґрунтуватись на позитивному досвіді провідних морських країн світу з урахуванням затребуваності у роботизованих технологіях українських підприємств. Тому розглянемо основні тренди розвитку морської робототехніки, які мають місце у країн – світових лідерів.

Безекіпажні надводні судна. Аналіз світового досвіду створення й застосування БНС свідчить, що до переваг такого виду ЗМР відносяться підвищення безпеки судноплавства й зменшення чисельності екіпажу на борту, а також можливість вдосконалення існуючих та створення принципово нових систем керування судами. При цьому екіпаж автоматизованого судна одержує вчасно інформацію для прийняття рішень і підтримку з боку кваліфікованого берегового персоналу, судноплавна компанія одержує можливість контролювати все, що відбувається на судні, оптимізувати його рух і оперативно впливати на рішення, а судовласники, страхові компанії, морські адміністрації – безпрецедентну прозорість і високу достовірність інформації про рух і стан суден.

Очікується, що технології БНС дозволять виключити людський фактор з процесу керування руху. З іншого боку, впровадження таких БНС-технологій може породити безробіття, тому що частину екіпажів суден (а у перспективі – екіпажі у повному складі) замінить автоматика. Ремонтний персонал при цьому повинен бути дуже високої кваліфікації. Адже крім механіки, буде потрібно ремонтувати електроніку, тому для співробітників необхідно буде проводити навчальні тренінги й курси. Однак у цілому автоматизація дозволяє спростити керування судном на основі готових програмних рішень. Таким чином, теоретично з'явиться можливість використовувати екіпаж без великого досвіду плавання.

Крім підвищення рівня безпеки й виключення людського фактору при керуванні, впровадження системи радіокерування вигідно завдяки здешевленню конструкції суден, збільшенню місткості й скороченню операційних витрат на екіпаж. Прогнозується, що впровадження масового глобального використання безекіпажних суден може зайняти кілька десятиліть: спочатку компанії будуть використовувати судна з дистанційним керуванням і скороченою чисельністю екіпажа, потім з'являться повністю автономні судна.

До головних поточних завдань широкого впровадження БНС у морську практику відносять розробку й апробацію технологій автоматичного судноводіння та дистанційного керування суднами. Однак, аналіз перспектив практичного створення БНС в інтересах України показує, що до головних завдань їх розробки слід віднести також проблему надійності функціонування виконавчих механічних та електромеханічних вузлів і систем БНС.

Тому актуальною прикладною науковою проблемою є розробка й дослідження інтелектуальних алгоритмів контролю й діагностики технічного стану виконавчих механізмів і датчиків БНС, у першу чергу, на основі нейронних мереж і алгоритмів нечіткої логіки.

Практичне створення й застосування БНС в Україні необхідно вирішувати у наступних основних напрямках:

- визначення ЦКБ-проектувальника та заводу-будівельника БНС;
- визначення наукової установи для теоретичного супроводу процесів розробки, будівництва та експлуатації БНС;
- визначення навчального закладу для підготовки фахівців з проектування й експлуатації БНС.

Автономні ненаселені підводні апарати. АНПА широко використовуються для підготовки карт морського дна до створення підводної нафтогазової інфраструктури.

Категорії ринку UUVs за ознакою застосування — це оборонні, комерційні, наукові дослідження та інші. До 2030 року найшвидше зростання буде спостерігатися в комерційній категорії, оскільки UUVs широко використовуються для картографування

морського дна, глибинних досліджень, будівництва трубопроводів, морського буріння, кабельної прокладки та багатьох інших комерційних цілей.

Особливу актуальність, у тому числі і для України, мають розробки АНПА транспортного типу, які призначені для доставки корисних вантажів на значні відстані [7-9]. Підводні апарати такого типу потрібні для реалізації тривалих підводних місій, коли вони будуть перевозити важкі корисні вантажі, що дає можливість зменшити залежність від різних типів логістичних технологій і можливостей надводних суден, особливо в складних гідрометеорологічних умовах.

Попередній аналіз проблеми створення АНПА транспортного типу свідчить, що для їх повномасштабного виробництва в Україні необхідно розв'язати низку наступних наукових завдань:

- удосконалення теорії проектування АНПА транспортного типу на основі використання останніх досягнень у галузях гідродинаміки, матеріалознавства, енергетики, електромеханіки, електроніки, інформатики та проектного менеджменту;
- удосконалення теорії автоматичного керування АНПА на основі залучення теорії штучного інтелекту та методів групового керування рухом;
- утворення промислових виробництв для серійного будівництва АНПА;
- організація підготовки фахівців для напрямку проектування, будівництва та експлуатації АНПА транспортного типу.

Вітчизняні організації, які ведуть свою виробничу діяльність на морі, мають потребу також і в прив'язних підводних апаратах, оскільки існує велика кількість підводних робіт на мілководних акваторіях держави – пошук, обстеження і документування підводних об'єктів, виконання інспекції технічного стану гідротехнічних споруд, супровід водолазних робіт тощо. Для виконання таких робіт доцільно залучити прості за архітектурою ROV зарубіжного виробництва, які за своїми цінovими характеристиками вигідно відрізняються від ППА вітчизняного виробництва в силу серійності їх будівництва.

Безпілотні літальні апарати. На цей час можна виділити наступні пріоритетні напрямки використання БЛА (UAV): сільське господарство; екстрені служби (пожежні, поліція, швидка допомога); енергетика й видобуток корисних копалин; будівництво; геодезія (картографія); транспортування й доставка; державні й муніципальні служби; природоохоронні служби; наука та освіта; зв'язок; фото й відеозйомка; спорт і розваги.

Щодо застосування БЛА для морської діяльності, то тут слід вказати на деяке відставання, оскільки специфіка морського середовища вимагає розробки спеціальних вимірювальних приладів та систем для успішного застосування БЛА у практичній діяльності морських організацій. Разом з тим, спостерігається позитивний зарубіжний досвід застосування UAV для дослідження популяцій морських тварин, забруднення сміттям берегової лінії та забруднення водного середовища нафтопродуктами [10-12].

Для України також актуальним є опанування світового досвіду в застосуванні БЛА для дослідження водного середовища (внутрішніх водойм та морських територіальних вод). Зокрема, перспективним є залучення БЛА для розв'язання завдань природоохоронного моніторингу водних акваторій, обстеження прибережних зон рекреаційних територій, а також для розв'язку деяких задач оборонного характеру при створенні системи захисту держави з морського напрямку.

Досвід авторів у розробці, створенні та застосуванні підводних засобів робототехніки вказує на доцільність формування додаткових завдань, актуальних на сьогодні для вітчизняних програм створення ЗМР всіх типів:

- створення резидентної робототехніки, тобто створення ЗМР, спроможних виконувати тривалі за часом морські пошукові та інспекційні місії;
- розробку відмовостійких елементів, вузлів і систем ЗМР, які б передбачали автоматичний чи дистанційно реалізований контроль їх працездатності;

- підготовку кваліфікованого персоналу для створення та експлуатації ЗМР, навчання якого ґрунтувалось би на передових науково-методичних технологіях.

Висновок.

Прикладне науково-технічне завдання створення і застосування засобів морської робототехніки належить до актуальних завдань загальнодержавного значення, а його успішний розв'язок можливий у рамках державної програми створення засобів морської робототехніки в інтересах вітчизняних організацій, які ведуть свою виробничу діяльність на морських та річкових акваторіях.

Список використаної літератури

1. Подводные работы.
<https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%8B>
2. ООН оголосила десятиліття наук про океан.
https://lb.ua/society/2017/12/06/383994_oon_obyavila_desyatiletie_nauk.html
3. Указ Президента України від 20 серпня 2021 року № 372/2021 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 18 червня 2021 року «Про Стратегію розвитку оборонно-промислового комплексу України».
<https://www.president.gov.ua/documents/3722021-39733>
4. Криголам “Ноосфера”. <http://uac.gov.ua/icebreaker-noosphere/>
5. Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2021-2030 роки. Міністерство освіти і науки України, 2020. 71 с.
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/rizne/2020/09/25/rozvitku-vishchoi-osviti-v-ukraini-02-10-2020.pdf>
6. Підводна археологія північного Причорномор'я : Стан та перспективи розвитку : монографія / М. М. Ієвлев, О. В. Чубенко, В. С. Блінцов, А. В. Надточий. – Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2019. – 336 с.
7. Каталог наукової продукції за 2019 рік. – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2019. – 91 с.
8. Блінцов В.С., Алоба Л.Т., Бабкін Г.В., Войтасик А.М., Клочков О.П., Сірвічук А.С. Проект створення автономного ненаселеного підводного апарата вантажного типу. Збірка матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі». – Херсонська державна морська академія, 2021. С. 6-9.
9. Design of an Autonomous Underwater Maintenance Dredger. A Teaser tu the maritime industry. – C-JOB. Dedicated Naval Architects, 2020. 12 pages.
10. Cecilia Martin, Stephen Parkes, Qiannan Zhang, Xiangliang Zhang, Matthew F. McCabe and Carlos M. Duarte. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Efficient Beach Litter Monitoring. Marine Pollution Bulletin 131(Part A), June 2018. DOI:[10.1016/j.marpolbul.2018.04.045](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.045)
11. Christopher J. Zappa, Scott M. Brown, Nathan J. M. Laxague, Tejendra Dhakal, Ryan A. Harris, Aaron M. Farber and Ajit Subramaniam. Using Ship-Deployed High-Endurance Unmanned Aerial Vehicles for the Study of Ocean Surface and Atmospheric Boundary Layer Processes. Frontiers in Marine Science, 21 January 2020 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00777>
12. İrsad Bayırhan, Cem Gazioglu. Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Marine Environment Simulator in Oil Pollution Investigations. Baltic J. Modern Computing, Vol. 8 (2020), No. 2, 327-336. <https://doi.org/10.22364/bjmc.2020.8.2.08>

ВПЛИВ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА УНІФІКАЦІЇ КОМЕРЦІЙНИХ ТЕХНІЧНИХ ТОВАРІВ НА ЗАСАДИ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ У РАМКАХ ПРОЄКТУВАННЯ ТА СТВОРЕННЯ ПІДВОДНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

*Клочков О. П., доцент кафедри електричної інженерії суднових
та роботизованих комплексів*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(м. Миколаїв, Україна)*

Вступ. Базування системного підходу на матеріальному, енергетичному, інформаційному та функціональному критеріях у рамках проектування підводних технічних засобів з відповідним синтезом рівнянь (нерівностей) по кожному з критеріїв не викликає суттєвих труднощів [1]. Це забезпечується визначеною залежністю між вхідними даними, які надаються Замовником у технічному завданні, та фактичними технічними характеристиками елементів та умовами їх експлуатації технічним персоналом.

Актуальність досліджень. Сутність системного підходу полягає у розгляді наведених критеріїв у комплексі, тому оцінка результатів по кожному критерію окремо може використовуватися як базова без врахування взаємного впливу одного з критеріїв на інші. У зв'язку з цим, одним з напрямків досліджень при використанні системного підходу є визначення пошуку шляхів остаточного прийняття рішення, коли використання комерційних технічних товарів у конкретному проєкті може бути виправданим перед базовим рішенням, що передбачає створення елемента з аналогічними функціями завдяки промисловим можливостям підприємств.

Постановка задачі. З огляду на вище наведене, постає задача формування чітких позицій, що нададуть проєктанту можливість визначитися з підбором конструктивних і виконавчих елементів, обираючи між стандартним і уніфікованим комерційним технічним товаром та створеним спеціально у рамках конкретного проєкту виробом, функції та характеристики якого повністю задовольняють базовим вимогам Замовника.

Результати досліджень. Підводні технічні засоби (самохідні прив'язні та буксирні системи, а також підводні апарати у їх складі) є високотехнологічними та високовартісними об'єктами. Досягнення взаємозв'язку та відповідності між технічними характеристиками та експлуатаційними параметрами згідно технічного завдання у рамках системного підходу до проектування та створення такого виду техніки бажано базувати на складових, що можуть бути створені силами технічного та матеріального парку підприємств, що залучені у рамках конкретного проєкту [2]. Але економічно вигідним є використання у проєкті стандартних виробів, що обмежено чи широко виготовляються промисловістю і є комерційними технічними товарами, що мають визначені модельні ряди з відомими технічними характеристиками та містять у своєму складі уніфіковані елементи. Відхід від базових засад системного підходу при проектуванні та створенні підводних технічних засобів вимагає від проєктанта чіткого розуміння впливу прийнятого технічного рішення за рахунок використання комерційного технічного товару в межах якогось одного з критеріїв на інші критерії системного підходу,

Висновки. Таким чином, підсумовуючи, можливо заключити наступне:

1. Проектування та створення підводних технічних засобів, виходячи з базових засад системного підходу, може призводити до неспіврозмірно великих фінансових витрат для досягнення відповідності між технічними характеристиками та експлуатаційними параметрами згідно технічного завдання, що робить недоцільним виконання подальших дій за проєктом, а у деяких випадках пояснює неможливість їх фізичної реалізації взагалі.

2. Використання комерційних технічних товарів у рамках системного підходу до проектування та створення підводних технічних засобів значно полегшує ці процеси за рахунок вже відомих їх характеристик та умов експлуатації, але вимагає коригування

технічного завдання за тим чи іншим критерієм системного підходу внаслідок пошуку оптимального рішення за якимось експлуатаційним параметром, що формується на основі взаємосуперечливих вимог.

ЛІТЕРАТУРА

1. Блінцов В. С., Клочков О. П. Проектні задачі створення безкіпажного самохідного прив'язного підводного комплексу на основі системного підходу. Науковий журнал «Науковий вісник Херсонської державної морської академії». 2018. № 2 (19). С. 4 -13.
2. Клочков О.П. Проектні задачі енергоживлення одноланкових самохідних прив'язних підводних систем. «Shipbuilding and Marine Infrastructure». 2019. №. 1 (11). С. 96-104. DOI [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).11](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).11)

СЕКЦІЯ:
**ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА
БЕЗПЕКА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ**

АНАЛІТИЧНІ СПІВВІДНОШЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СТРУМУ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ В ПАРАХ МЕТАЛІВ В ФІЗИЧНИХ УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ОСАДЖЕННЯ КЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

Мельник І.В., Мельник В.Г., Тугай С.Б., Суржиков М.С., Швед І.С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра електронних пристроїв та систем (м. Київ, Україна)

Вступ. В сучасному виробництві наземних, водних та повітряних транспортних засобів широке впровадження знаходять технології нанесення зміцнюючих, термостійких та теплозахисних керамічних покриттів [1 – 4]. Такі покриття забезпечують механічну міцність деталей машин за умови наявності тертя та захищають металеві частини лопаток двигуна та стінок об'єму, де спалюють паливо, від небажаного перенагрівання. За рахунок цього можна досягти більш високої температури в циліндрі двигуна, що, у значній мірі, підвищує його енергетичну ефективність. Зокрема, в сучасних моделях двигунів температура в середині циліндру, де спалюють паливо, може бути більшою за 5000°C [2, 3]. Щодо зміцнюючих покриттів – їх використання дозволяє, у значній мірі, підвищити термін безвідмовної роботи для важливих деталей механізмів, які обертаються з високою швидкістю та підлягають значному впливу тертя [1, 4].

В сучасному виробництві для нанесення керамічних покриттів часто використовують сучасні електронно-променеві технології [2, 3]. Головними перевагами використання таких технологій є висока стехіометрія та чистота отримуваних покриттів, а також висока продуктивність технологічного процесу електронно-променевого випаровування тугоплавких металів та керамічних матеріалів у вакуумі. Особливості електронно-променевих технологій нанесення зміцнюючих, термостійких та теплозахисних керамічних покриттів полягають в тому, що процес нанесення покриття проводиться в низькому вакуумі, порядку одиниць Па, в середовищі активного газу, а для забезпечення протікання хімічної реакції між парами металу та активним газом над тиглем, з якого випаровується метал, необхідно запалювати дуговий розряд з метою активації хімічної реакції між парами металу та залишковим газом [2 – 4]. З технічної точки зору, для реалізації технологічного процесу за таких фізичних умов, варто використовувати електронні гармати на основі високовольтного тліючого розряду, які стабільно працюють в низькому та середньому вакуумі в середовищі активних газів. Іншою відмінною рисою таких гармат є відносна простота конструкції, можливість розбирання з метою заміни відпрацьованих деталей та вузлів, а також відносна дешевизна як самої гармати, так і використовуваного технологічного вакуумного обладнання [5, 6].

Нажаль, стримуючим фактором щодо впровадження електронно-променевої технології отримання керамічних покриттів у виробництво двигунів та коштовних деталей для транспортних засобів є відсутність відповідних методів та засобів математичного моделювання таких процесів для попереднього визначення значення струму дугового розряду та технологічних режимів роботи електронно-променевого устаткування. Якщо засоби моделювання електронних гармат високовольтного тліючого розряду досить повно та досконало були розглянуті в роботах [7, 8], простих аналітичних співвідношень для визначення струму дугового розряду в парах металу взагалі не існує. Тому отримання таких співвідношень та аналіз результатів моделювання є метою даної роботи.

Постановка завдання моделювання. Наочна ілюстрація блоку електронно-променевого технологічного устаткування, призначеного для реактивного осадження керамічного покриття наведена на рис. 1 [5]. На рис. 2 показана конструктивна схема пристрою для осадження керамічного покриття, наведені відповідні геометричні розміри як параметри цього пристрою, а також показаний спосіб підключення цього технологічного пристрою до електричної мережі. Як видно з рис. 2, головними конструктивними параметрами технологічного пристрою, який розглядається, є наступні.

1. Радіус перетину кільцевого електроду r_r .

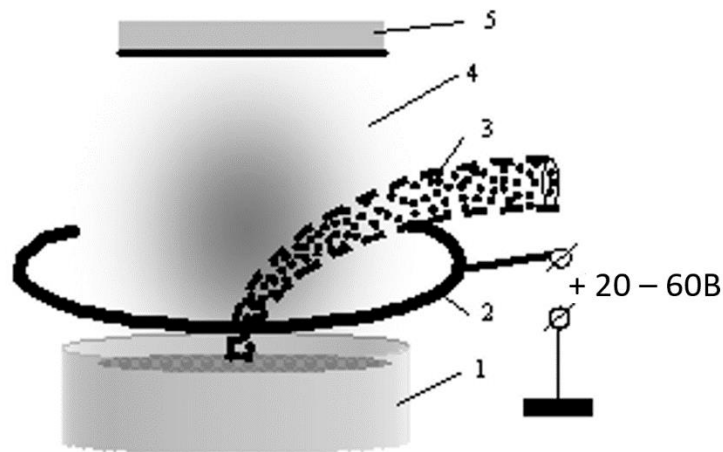


Рисунок 1 – Наочна ілюстрація технологічного устаткування для реактивного електронно-променевого нанесення керамічних покриттів. 1 – тигель, з якого випаровується метал, 2 – кільцевий електрод, 3 – електронний пучок, 4 – пара металу, 5 – підкладка для осадження керамічного покриття

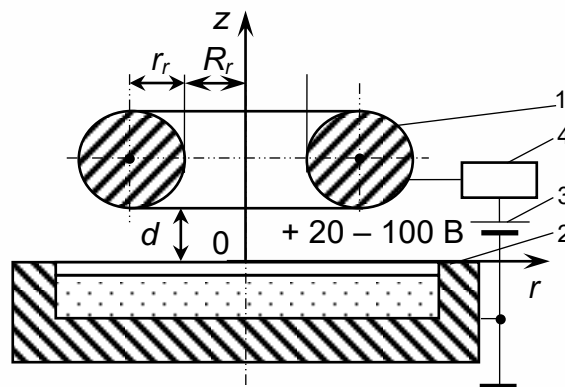


Рисунок 2 – Конструктивна схема пристрою для підтримання дугового розряду в парах металу та спосіб підключення цього пристрою до електричної мережі. 1 – кільцевий електрод, 2 – тигель, 3 – джерело живлення, 4 – електронна система контролю струму дугового розряду

2. Внутрішній радіус кільцевого електроду R_r .
3. Відстань між тиглем та кільцевим електродом d .

Важливим електричним параметром математичної моделі технологічного пристрою, яка розглядається, є також напруга горіння дугового розряду U_d . Цей параметр, згідно з встановленими фізичними припущеннями та відомими експериментальними даними щодо дослідження технологічного процесу реактивного електронно-променевого випаровування металів, може приймати значення в діапазоні від 20 В до 100 В [2–4].

Математичну модель такої електродної системи для фізичних умов горіння несамостійного дугового розряду можна побудувати на основі наступних припущень та теоретичних положень, які були запропоновані у вісімдесятих роках ХХ століття провідними вченими в галузі фізики газового розряду та розрядної плазми Смірновим В.Б. та Райзером Ю.П. [9–12].

1. Розподіл електричного поля між кільцевим електродом та поверхнею металу, який випаровується, визначається через аналітичне розв'язування рівняння Пуасона в циліндричних координатах. Відповідна система координат (r, z) показана на рис. 2.

2. Величина просторового заряду визначається рівнянням неперервності для струмів електронів та іонів.

3. Енергія атомів металу над поверхнею тигля визначається за законом Больцмана як kT_{ev} , де k – стала Больцмана, T_{ev} – температура випаровування.

4. Пари металу над тиглем є насиченими. Відповідно до цього фізичного припущення визначається концентрація атомів металу n_m .

5. Рівень іонізації парів металу визначається коефіцієнтом іонізації β_m .

6. Концентрація атомів залишкового газу визначається тиском у технологічній камері p_g .

7. Рівень іонізації залишкового газу визначається коефіцієнтом іонізації β_g .

8. Величини β_m та β_g для математичної моделі, яка розглядається, вважаються постійними та не залежать від напруги горіння дугового розряду U_d .

9. Відповідно до фізичної моделі однозарядних іонів, кількість іонів та електронів в об'ємі, де протікає дуговий розряд, вважається однаковою.

Формування базової системи алгебро-диференціальних рівнянь. Згідно зі сформульованими припущеннями 1 – 9, базову систему алгебро-диференціальних рівнянь, призначену для формування аналітичних співвідношень, спрямованих на розв'язування поставленого завдання математичного моделювання, можна записати наступним чином.

1. Диференціальне рівняння Пуасона для визначення розподілу електричного поля в розрядному проміжку [13]:

$$\frac{d^2\varphi(r)}{dr^2} = \rho, \quad (1)$$

де $\varphi(r)$ – електричний потенціал, ρ – густина просторового заряду.

2. Рівняння Менделєєва – Клапейрона для визначення тиску насиченої пари у технологічному пристрої для реактивного осадження керамічних плівок, конструктивна схема якого наведена на рис. 2 [14]:

$$p_s = \frac{\rho_v}{\mu_v} RT_{ev}, \quad (2)$$

де p_s – тиск насиченої пари, ρ_v – густина пари, μ_v – молекулярна маса пари, R – універсальна газова стала [14].

3. Рівняння неперервності струму дугового розряду, яке, відповідно до граничних умов для електродної системи, конструктивна схема якої наведена на рис. 2, записується у наступному вигляді [10, 12]:

$$j_d = en_{im} \left(\sqrt{\frac{2kT_{ev}}{m_{im}}} + \sqrt{\frac{2e\varphi(r)}{m_{im}}} \right) + en_{ig} \left(\sqrt{\frac{2kT_0}{m_{ig}}} + \sqrt{\frac{2e\varphi(r)}{m_{ig}}} \right) + en_e \sqrt{\frac{2e\varphi(r)}{m_e}}, \quad (3)$$

де j_d – густина струму дугового розряду, m_{im} – маса іонів металу, m_{ig} – маса іонів газу, n_{im} – концентрація іонів металу, n_{ig} – концентрація іонів газу, T_0 – температура зовнішнього середовища у технологічній камері, n_e – концентрація електронів, m_e – маса електрона.

Аналітичний розв'язок системи рівнянь (1 – 3) буде наведено у наступному підрозділі.

Аналітичні співвідношення для визначення розподілу потенціалу. Враховуючи рівняння (2), можна переписати диференціальне рівняння (1) для визначення розподілу потенціалу між поверхнею тигля та кільцевим електродом наступним чином:

$$\rho_\Sigma(r) = K \sqrt{\frac{1}{\varphi(r)}}. \quad (4)$$

Коефіцієнт K у співвідношенні (4) визначається як:

$$K = \sqrt{\frac{e}{k}} \left(\beta_m \sqrt{p_a N_A R} + \frac{\beta_g p_g}{\sqrt{T_0}} \right), \quad (5)$$

де N_A – стала Авогадро [14].

Тоді, враховуючи отримані співвідношення (4, 5) для величини просторового заряду ρ_Σ , диференціальне рівняння Пуасона (1) для граничних умов, що відповідають електродній системі технологічного пристрою, конструктивна схема якого наведена на рис. 2, можна спрощено переписати у вигляді кубічного рівняння, яке розв'язується

аналітично з використанням відомої формули Кордано [15]. Відповідні аналітичні залежності записуються наступним чином:

$$p = -\frac{3}{16K^2}, q = -\frac{24K^3 \left(\frac{2}{3} U_d^{1.5} - (R_r - r) \sqrt{U_d} \right) + 27}{32K^3}, D = \left(\frac{24K^3 \left(\frac{2}{3} U_d^{1.5} - (R_r - r) \sqrt{U_d} \right) + 27}{64K^3} \right)^2 - \frac{1}{4096K^6}, \quad (6)$$

$$u = 3\sqrt{-\frac{q}{2} + \sqrt{D}}; v = 3\sqrt{-\frac{q}{2} - \sqrt{D}}; y = u + v; t = y + \frac{1}{4K}; \varphi(r) = \sqrt{t}.$$

Аналітичні співвідношення для визначення струму дугового розряду. У разі відомої функції розподілу потенціалу $\varphi(r)$, яка визначається системою алгебраїчних рівнянь (6), співвідношення (3) для визначення густини струму дугового розряду у площині симетрії кільцевого електроду переписується наступним чином:

$$j_d(r) = S_1 \sqrt{\varphi(r)} + S_2, S_1 = \sqrt{2e} \left(C_1 \sqrt{\frac{1}{m_{im}}} + C_2 \sqrt{\frac{1}{m_{ig}}} + C_3 \sqrt{\frac{1}{m_e}} \right), S_2 = C_1 \sqrt{\frac{2kT_{ev}}{m_{im}}} + C_2 \sqrt{\frac{2kT_0}{m_{ig}}},$$

$$C_1 = \frac{e\beta_m}{k} \sqrt{\frac{p_a N_A R}{T_{ev}}}; C_2 = \frac{e\beta_g p_g}{kT_0}; C_3 = C_1 + C_2. \quad (7)$$

Тоді струм дугового розряду I_d визначається через інтегрування отриманої функції $j_d(r)$, заданої співвідношенням (7), за координатою r :

$$I_d = 2\pi \left(S_1 \left(\int_0^{R_r} \sqrt{\varphi(r)} r dr \right) + \frac{S_2 R_r^2}{2} \right). \quad (8)$$

Рівняння (8) не має аналітичного розв'язку. Відповідне чисельне співвідношення для розв'язування цього рівняння можна записати наступним чином:

$$I_d = 2\pi \left(S_1 \left(\sum_{i=0}^N i \sqrt{\varphi\left(\frac{iR_r}{N}\right)} \left(\frac{R_r}{N}\right)^2 \right) + \frac{S_2 R_r^2}{2} \right), \quad (9)$$

де N – загальна кількість дискретних точок, обраних в діапазоні $[0, R_r]$, i – номер точки на відповідній ітерації.

Результати моделювання електродної системи технологічного пристрою, конструктивна схема якого наведена на рис. 2, отримані з використанням аналітичних співвідношень (4 – 7, 9), будуть розглянуті у наступному підрозділі.

Результати моделювання електродної системи технологічного пристрою та їх аналіз. Результати розрахунків вольт-амперних характеристик дугового розряду у парах металу представлені на рис. 3. Всі результати були отримані для випаровування титану у середовищі азоту. Відповідні значення термодинамічних та електричних коефіцієнтів, як внутрішніх параметрів математичної моделі, наведені у таблиці 1 [12, 16, 17].

Таблиця 1 Електричні та термодинамічні внутрішні параметри математичної моделі для технологічного процесу випаровування титану в середовищі азоту з метою отримання зміцнюючих керамічних покриттів нітриду титану [12, 16, 17]

№	Параметр	Величина
1.	Рівень іонізації парів металу, β_m	0,8
2.	Рівень іонізації залишкового газу, β_g	0,75
3.	Температура у розрядній камері, $T_0, ^\circ\text{C}$	20
4.	Температура випаровування, $T_{ev}, ^\circ\text{C}$	3600

Із графічних залежностей, які наведені на рис. 3, зрозуміло, що розраховані з використанням співвідношень (4 – 7, 9) вольт-амперні характеристики дугового розряду повністю відповідають теоретичним уявленням про характер таких залежностей, відомих з основ фізики несамостійного газового розряду та розрядної плазми [9 – 12]. Загалом залежності $I_d(U_d)$ є наростаючими, але значення похідної $\frac{dI_d}{dU_d}$ зменшується зі збільшенням напруги горіння розряду U_d . З теоретичної точки зору це можна пояснити ефектом насичення струму розряду, який обмежується просторовим зарядом іонів біля кільцевого

електроду [9 – 12]. Отримані розрахункові залежності похідної $\frac{dI_d}{dU_d}$ від напруги горіння дугового розряду для розглянутих фізичних умов та параметрів технологічного процесу нанесення керамічних покриттів наведені на рис. 4. Слід відзначити, що для малих значень напруги горіння розряду значення похідної вольт-амперної характеристики $\frac{dI_d}{dU_d}$ майже не залежить від тиску залишкового газу у розрядній камері. Крім цього, як видно з графічних залежностей, наведених на рис. 4, ефект насичення є більш впливовим для великих значень тиску, ніж для малих.

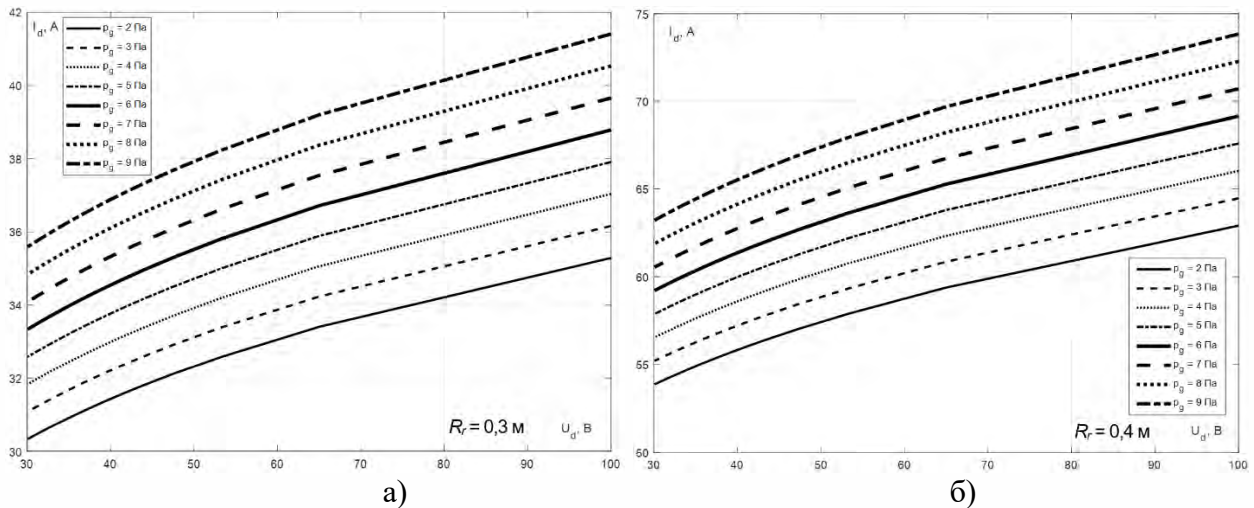


Рисунок 3 – Вольт-амперні характеристики дугового розряду для електродної системи технологічного пристрою, конструктивна схема якого наведена на рис. 2. Розрахунки проведені за співвідношеннями (4 – 7, 9) для значень залишкового тиску у технологічній камері p_g від 2 Па до 9 Па та для різних значень внутрішнього радіусу кільцевого електроду R_r . а) $R_r = 0,3$ м; б) $R_r = 0,4$ м

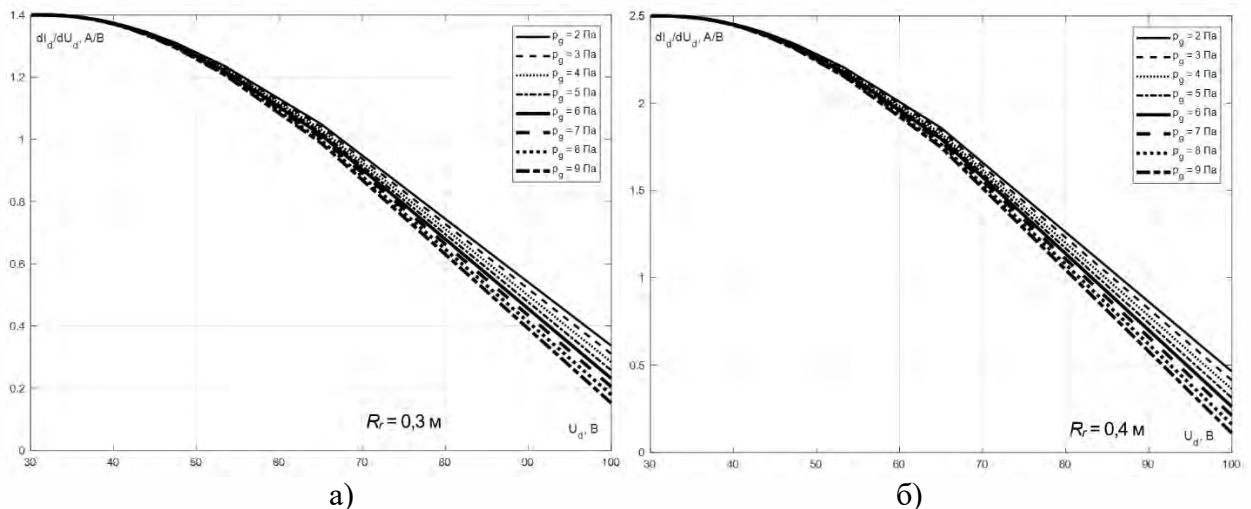


Рисунок 4 – Розраховані залежності похідної вольт-амперної характеристики дуги $\frac{dI_d}{dU_d}$ від значень напруги горіння дугового розряду, тиску у технологічній камері та внутрішнього радіусу кільцевого електроду для досліджених режимів роботи технологічного пристрою, конструктивна схема якого наведена на рис. 2. а) $R_r = 0,3$ м; б) $R_r = 0,4$ м

З математичної точки зору ефект зменшення швидкості зростання струму із збільшенням напруги можна пояснити тим, що у степеневій функції $j_d = j_d(U_d^a)$, яка задана

співвідношеннями (6), найбільший показник степені α має значення $\alpha = 0,25$, тобто, є меншим за 1.

Також слід відзначити, що зазвичай на практиці ефект насичення струму розряду проявляється в більшій степені та похідна $\frac{dI_d}{dU_d}$, за умови великих значень напруги горіння розряду U_d , має менше значення [2 – 4]. Це насамперед обумовлено залежністю коефіцієнтів іонізації газу β_m та β_g від напруги горіння розряду [10, 12]. Тобто, припущення 1 – 9, за якими була побудована розглянута в цій роботі математична модель, виконуються не повністю. Удосконалення запропонованої математичної моделі з метою урахування залежностей $\beta_m(U_d)$ та $\beta_g(U_d)$, а також порівняння результатів моделювання з відомими експериментальними даними [2 – 4], є предметом подальших теоретичних досліджень.

Щодо залежності струму дугового розряду від внутрішнього радіусу кільцевого електроду, тут, згідно із співвідношенням (9), має місце квадратична функція $I_d(R_r^2)$. Тобто, у разі необхідності отримання більшого значення струму дугового розряду, варто збільшувати внутрішній радіус кільцевого електроду R_r .

Також важливим висновком з отриманих результатів моделювання є те, що, за умови насиченої пари, для заданого значення тиску потужність електронного пучка не впливає на концентрацію атомів металу. Вона визначає лише температуру поверхні рідинного металу.

Слід відзначити, що в електронно-променевих технологіях нанесення керамічних покриттів з використанням дугового розряду в парах металів та активних газах якість отриманих покриттів та стехіометрія їхнього складу безпосередньо залежить від напруги горіння розряду, тиску в технологічній камері та від струму розряду [2 – 4]. Тому отримані результати моделювання та вольт-амперні характеристики дугового розряду, наведені на рис. 3, мають вкрай важливе практичне значення. За отриманими графічними залежностями проектувальники напилювального електронно-променевого обладнання можуть оцінити значення напруги горіння розряду та тиску в технологічній камері, які дозволяють отримати, за умови відомого струму, необхідну концентрацію та ступінь активації як для парів металу, так і для залишкового газу. Оскільки тиск у розрядній камері є важливим параметром технологічного процесу, від якого, в значній мірі, залежить якість отриманого керамічного покриття, а напруга горіння розряду суттєво впливає на ступінь іонізації газу, найкращим шляхом для забезпечення необхідної величини струму розряду є правильний вибір внутрішнього радіусу кільцевого електроду.

Висновки. Запропонована в роботі математична модель дугового розряду в парах металу, який запалюється з метою осадження високоякісних керамічних покриттів, а також отримані графічні залежності для вольт-амперної характеристики розряду, є вкрай важливими науковими результатами з практичної точки зору. Отримані результати моделювання дозволяють інженерам-технологам та конструкторам на початковому етапі проектування електронно-променевого напилювального обладнання попередньо оцінити струм дугового розряду, який забезпечить отримання якісних керамічних покриттів з високою стехіометрією. Загалом такий підхід дозволить прискорити проектування сучасного електронно-променевого обладнання для нанесення зміцнюючих, термостійких та теплозахисних покриттів, а також буде сприяти впровадженню цих перспективних технологій у виробництво транспортних засобів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ладохин С.В., Левицкий Н.И., Чернявский В.Б., Лапшук Т.В., Шмигидин В.Г., Кравчук Л.А., Гладков А.С. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве. – Киев, «Сталь», 2007. – 605 с.

2. M.I. Grechanyuk, A.G. Melnyk, I.M. Grechanyuk et al. “Modern electron beam technologies and equipment for melting and physical vapor deposition of different materials”, *Electrotechnics and Electronics (E+E)*, Vol. 49, 2014, no. 5 – 6, pp. 115 – 121.
3. Mattausch G., Zimmermann B., Fietzke F., Heinss J.P., Graffel B., Winkler F., Roegner F.H., Metzner C. “Gas discharge electron sources – proven and novel tools for thin-film technologies”, *Electrotechnics and Electronics*, Vol. 49, no 5 – 6, pp. 183 – 195, 2014.
4. Feinaeugle P., Mattausch G., Schmidt S., Roegner F.H. “A new generation of plasma-based electron beam sources with high power density as a novel tool for high-rate PVD”, *Society of Vacuum Coaters, 54-th Annual Technical Conference Proceedings, Chicago*, pp. 202–209, 2011.
5. Denbnovetskiy S., Melnyk V., Tugai B., Tuhai S., Wojcik W., Lawicki T., Assambay A., Luganskaya S. Principles of operation of high voltage glow discharge electron guns and particularities of its technological application. – *Proceedings of SPIE, The International Society of Optical Engineering*, 2017, pp. 10445 – 10455.
6. Denbnovetskiy S.V., Melnyk V.G., Melnyk I.V. “High voltage glow discharge electron sources and possibilities of its application in industry for realizing of different technological operations”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 31, #5, pp. 987 – 993, October, 2003.
7. Melnyk I., Tuhai S., Pochynok A. Universal Complex Model for Estimation the Beam Current Density of High Voltage Glow Discharge Electron Guns”, *Lecture Notes in Networks and Systems*. – #152, 2021. Editors: M. Ilchenko, L. Uryvsky and L. Globa. – P. 319-341. <https://www.springer.com/gp/book/9783030583583>
8. Denbnovetskiy S.V., Felba J., Melnik V.I., Melnik I.V. “Model Of Beam Formation In A Glow Discharge Electron Gun With A Cold Cathode”, *Applied Surface Science*, 111, pp. 288-294, 1997.
9. Smirnov B.M. *Theory of Gas Discharge Plasma*. – Springer, 2015, 433 p.
10. Lieberman M.A., Lichtenberg A.J. *Principles of Plasma Discharges for Materials Processing*. – New York: Wiley Interscience, 1994, 572 p.
11. Raizer Yu. P. *Gas Discharge Physics*. – New York: Springer, 1991, 449 p.
12. Устойчивость горения электрической дуги. Низкотемпературная плазма. Том 5 / П.А. Кулаков, О.Я. Новиков, А.Н. Томашевский. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1992. – 199 с.
13. Тамм И.Е. *Основы электричества: Учебное пособие для вузов*. – Москва, Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1989. – 504 с.
14. Кикоин А.К., Кикоин И.К. *Общий курс физики. Молекулярная физика*. – Москва, Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1976. – 480 с.
15. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. *Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов*. – Москва, Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986. – 544 с.
16. Kuchling H. *Taschenbuch der Physik*, 21 Edition. – Carl Hanser Verlag, 2014. – 711 s.
17. Espe W. *Materials of High Vacuum Technology*. Vol. 1: Metals and Metalloids. – Washington, Pergamon Press, 1966. – 912 p.

BENEFITS OF USING LIQUID NATURAL GASES (LNG) ON VESSELS DURING SEA VOYAGES

I. Surinov, V. Shemonayev

National University "Odessa Maritime Academy" (Ukraine)

Introduction. Nowadays, all shipping companies over the world are committed to protect environmental pollution. As the concerns about air pollution have steadily increased, the perception that ships are the source of pollutants and toxic emissions is also expanding. Thus, the International Maritime Organization (IMO) is tightening maritime regulations to reduce air pollution from ships. Currently, the government and related industries are trying to replace heavy fuel oil with liquefied natural gas (LNG) to counter future IMO regulations. Since the use of LNG is expected to increase costs, it is necessary to estimate the social benefits to determine the legitimacy of the replacement [1].

In turn, the International Maritime Organization has drawn up several documents accompanying the promotion of environmentally friendly transport. For this reason, each company is developing new technologies to reduce emissions of pollutants into the environment and plans for training courses for seafarers.

The package of measures of new Chapter 4 of MARPOL Annex VI entitled "Regulation on energy efficiency for ships" for operational reduction measures and new vessels is composed of two main measures [2]:

1. The Energy Efficiency Design Index (EEDI).

It requires to comply new vessels with minimum mandatory energy performance levels, which are increasing through different phases over time.

2. The Ship Energy Efficiency Plan (SEEMP).

It establishes a mechanism for shipowners which provides improving the energy efficiency of new existing vessels using operational measures such as trim, weather routing, draught optimization, speed optimization, etc.

Furthermore, IMO persists committed to reducing GHG emissions from international shipping and, the most urgency, aims to phase them out as soon as possible in this century [3].

Relevance of the article. One of the alternatives is the natural or Liquefied Natural Gas (LNG). Its main component is methane (CH₄), the hydrocarbon fuel with the lowest carbon content and therefore with the highest potential to reduce CO₂ emissions (maximum reduction: roughly 26 per cent compared to HFO). The production process of LNG ensures that it is practically Sulphur-free. Therefore, using LNG as fuel does not produce any SOX emissions.

New opportunities for vessels which are using LNG technology:

1. Optimization of ME operation as LNG is more efficient as HFO.

2. Optimize the power management system to operate the auxiliary engines on an optimal load.

3. Opportunity to use useful LNG storage.

4. Using of Boil-Off Gas for Dual fuel boiler, utilization as fuel in Engine equipment.

5. New Bunkering procedure for the container vessels.

6. New Safety procedures and Risk Assessment.

7. SIMOPS procedures coordinated between ship-shore side.

Qualified Crew is essential importance for the new technologies on ships. Due to this shipping requires a good education of the young generation and training of the existing crew to fulfil market requirements due to the change of technology in the next decade.

As engines and auxiliary machinery became more complicated and powerful, so the need for more specialized or advanced engineering skills increased. Engineers gradually became more involved in matters directly related to the purpose of the voyage [4-6].

Aim of the article. The main purpose of this study is to show the benefits of using LNG power system onboard and implement new strategy to producing these systems.

Results and Discussion. With the IMO 's tightening of SOx (sulfur oxides) regulations introduced in January 2020, most ocean-going vessels now use low-sulfur heavy oil. However, the use of low sulfur heavy oil does not change CO2 emissions, the fuel is inadequate in achieving the IMO goal of reducing CO2 emissions by more than 40% in 2030 compared to 2008.

For this reason, the introduction of LNG-fueled vessels which do not use heavy oil is drawing attention in the long term. LNG is said to have a low environmental impact because it removes sulfur in the pre-liquefaction process, so it emits almost no Sulfur Oxides (SOx) or Particulate Matter (PM) when burned and emits less NOx (nitrogen oxides) and CO2 than other fossil fuels. It is also relatively safe because its specific gravity is lighter than that of air and it is easy to diffuse, so there is less risk of explosion. In addition, its proven reserves surpass that of oil and its ability to provide a stable long-term supply for more than 50 years is a key advantage.

Globally, the number of LNG-fueled vessels has increased from 18 completed vessels in 2010 to 175 currently in service, with more than 200 on order in 2020. Most of the vessels in service are operated in Europe and it is expected that the shift from heavy oil to LNG or other alternative fuels will be further accelerated because of the strengthening of SOx regulations in January 2020. In Japan, Mitsui O.S.K. Lines, Ltd.(MOL) and Nippon Yusen Kaisha(NYK) have launched Japan's first LNG-fueled tugboats, and plans to build LNG-fueled vessels are continuing. MOL's LNG-fueled tugboat "Ishin" was carried out LNG-bunkering in Kobe as well as in Nagoya.

The number of LNG-fueled ships of all kinds has increased steadily over the past decade, especially in the ferry, offshore, tanker, and container segments. New cruise ships are also being built with LNG engines. Additionally, LNG carriers, which use their cargo as fuel, continue to be built as global demand for LNG grows (Fig. 1).

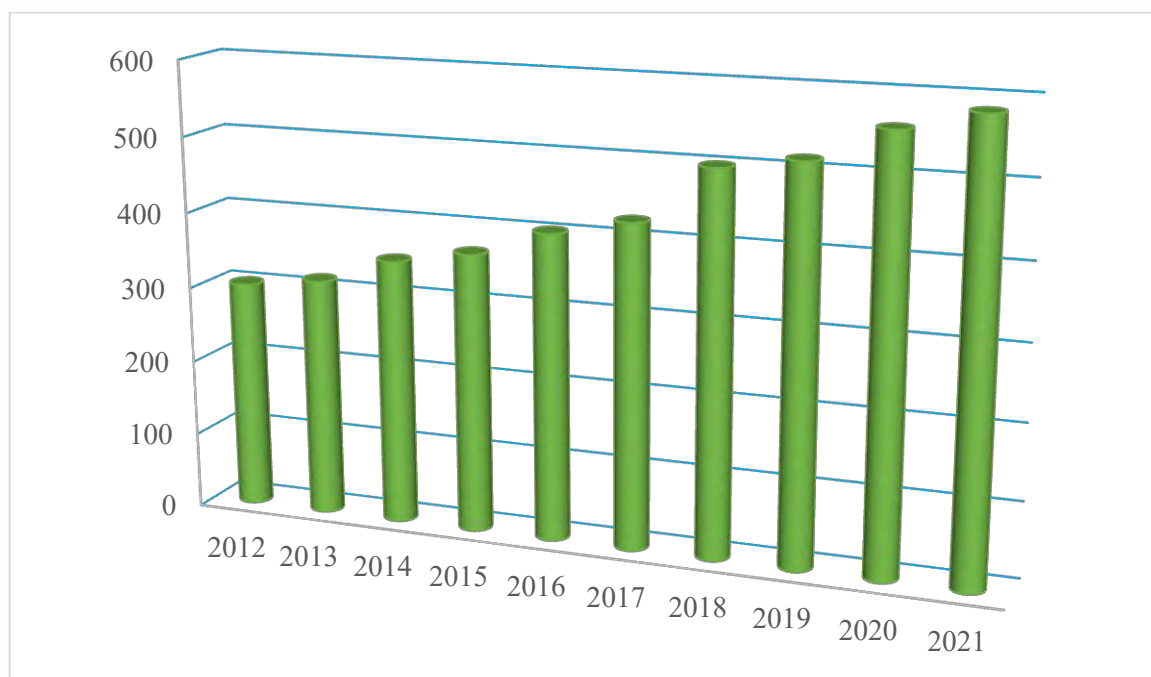


Fig. 1. Cumulative number of LNG carriers

The use of LNG as a marine fuel has been promoted almost entirely on the claimed environmental advantages when compared to residual oil fuels. Being almost pure methane, LNG produces less of the three main pollutants attributed to shipping.

SOx is almost entirely eliminated since it is mostly absent from the fuel. This is the reason why LNG is touted as the easiest method for ships to meet the 2020 global sulphur cap – although that presupposes that the ships have dual-fuel or gas burning engines.

The chemical composition of methane means that there is less carbon and bonded nitrogen than in oil fuels. This means that there is a 25% reduction in CO₂ and an 80% reduction in NO_x. However, the picture is not all rosy and LNG can have a downside.

As expected, the measurements revealed that emissions of particulates (both number and mass), NO_x and CO₂ were all considerably lower for LNG compared to MGO and other marine fuel oils. However, emissions of carbon monoxide and total hydrocarbons were higher. Analysis of the exhaust gases showed that around 85% of hydrocarbon emissions from LNG were methane.

Emissions of unburnt methane known as the 'methane slip' were around 7g per kg LNG at higher engine loads, rising to 23–36g at lower loads. This increase could be due to slow combustion at lower temperatures, which allows small quantities of gas to avoid the combustion process. These escaped emissions are significant, as methane has a global warming potential which is 28 times higher than that for CO₂ over a 100-year perspective, and 84 times higher over 20 years. Although overall particulate emissions were lower from LNG than MGO, LNG particulate emissions were dominated by very small (ultrafine) and volatile particles, while combustion with MGO resulted in a smaller fraction of these particle types.

LNG's 'clean' characteristics are likely to make it a significant marine fuel in the future, but its operational issues will likely have a major impact on ship design and construction. A leak of LNG to the outside of the ship will not be the polluting event that it would be in the case of oil fuels. Under such circumstances, the gas would rapidly dissipate.

LNG fuel has a low environmental impact, but there are three general disadvantages to using it as a ships fuel.

1. Installation of engines that can use LNG fuel.
2. Capital investment is also required in equipment other than engines, such as fuel tanks 2 to 3 times larger than conventional ones and re-liquefaction equipment.
3. Cost at the time of new construction is 15 ~ 30% higher compared to conventional fueled vessels

However, as environmental regulations become increasingly stringent, LNG-fueled vessels are expected to continue to grow in market share because of their advantages, such as "zero sulfur content, about 25% reduction in CO₂ emissions, and overwhelmingly low nitrogen compound emissions," and "LNG is more competitively priced than expensive low-sulfur heavy oil.

Conclusion. Main component of LNG is methane (CH₄), the hydrocarbon fuel with the lowest carbon content and therefore with the highest potential to reduce CO₂ emissions (maximum reduction: roughly 26 per cent compared to HFO). The production process of LNG ensures that it is practically sulphur-free. Therefore, using LNG as fuel does not produce any SO_x emissions. LNG technology was chosen by several Shipping and Liner Companies.

REFERENCES

1. I Surinov and V Shemonayev New opportunities for seafarers owing to reduction emission and arising the number of Dual fuel vessels 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 915 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012029>
2. International Maritime Organization 2020 Regulation for prevention of pollution by sewage. (MARPOL ANNEX IV IMO Resolution).
3. Johnson DR, Heltzel R, Nix AC, Clark N and Darzi M. 2017 Greenhouse gas emissions and fuel efficiency of in-use high horsepower diesel, dual fuel, and natural gas engines for unconventional well development. Appl Energy 206 739-750.
4. Shu J, Fu J, Liu J, Zhang L and Zhao Z 2018 Experimental and computational study on the effects of injection timing on thermodynamics, combustion and emission characteristics of a natural gas (NG)-diesel dual fuel engine at low speed and low load. Energy Convers Manage 160 426-438

5. Huang H, Zhu Z, Chen Y, Chen Y, Lv D and Zhu J 2019 Experimental and numerical study of multiple injection effects on combustion and emission characteristics of natural gas–diesel dual-fuel engine. *Energy Convers Manage* 183 84-96.
6. Huang H, Zhu Z, Zhu J, Lv D, Pan Y and Wei H 2019 Experimental and numerical study of pre-injection effects on diesel-n-butanol blends combustion. *Appl Energy* 249 377-391.

УДК 621.436:629.128.6

**ДІАГНОСТИКА ДВОТАКТНИХ ДВИГУНІВ MAN B&W
НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ MAHON (MENORCA) СПІЛЬНО З IMES GMBH**

***R.A. Varbanets, Yu.M. Kucherenko, D.S. Minchev, V.I. Kirnaц, O.I. Kirilash
S. Neumann***

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна
IMES GmbH, Kaufbeuren, Germany*

Анотація: Застосування сучасних методів синхронізації даних та вібродіагностики розширює можливості діагностики морських двигунів. Використовуючи існуючі методи, неможливо здійснювати під час експлуатації прями вимірювання тиску впорскування палива, фаз подачі та газорозподілу двигунів за допомогою переносних діагностичних систем. Альтернативою прямим вимірюванням є аналіз вібродіаграм за допомогою якого можна визначити фази підйому та посадки голки форсунки, початку подачі та відсікання палива паливним насосом високого тиску, початок та кінець циркуляції підігрітого важкого палива в паливній системі, а також фази закриття та, у деяких випадках, відкриття клапанів газорозподілу. У доповіді наведено приклад діагностики двотактних дизелів електростанції Маһон, що знаходиться на острові Менорка (Іспанія), наведені несправності форсунки та випускного клапана. Для моделювання робочого процесу з урахуванням експлуатаційних факторів використано ресурс Blitz-PRO

Ключові слова: дизелі, робочий процес, моделювання, діагностика, паливна апаратура, клапана газорозподілу.

**DIAGNOSTICS OF TWO STROKE MAN B&W ENGINES
AT THE MAHON MENORCA POWER STATION JOINTLY WITH IMES GMBH**

R. Varbanets, Y. Kucherenko, D. Minchev, O. Kyrylash and S. Neumann
*Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine
IMES GmbH, Kaufbeuren, Germany*

Abstract: The use of modern methods of data synchronization and vibration diagnostics expands the possibilities of diagnosing marine engines. Using existing methods, it is impossible to carry out direct measurements of fuel injection pressure, fuel supply phases and gas distribution of engines during operation using portable diagnostic systems. An alternative to direct measurements is the analysis of vibration diagrams, which can be used to determine the phases of the rise and landing of the nozzle needle, the start of fuel feed and cut-off of fuel by the high-pressure fuel pump, the beginning and end of the circulation of heated heavy fuel in the fuel system, as well as the phases of closing and, in some cases, opening gas distribution valves. The presentation gives an example of diagnosing two-stroke diesel engines at the Mahon power station, located on the island of Menorca (Spain), showing various malfunctions of the injector and exhaust valve. To simulate the working process taking into account operational factors, the Blitz-Pro resource was used.

Keywords: diesel engines, working process, modeling, diagnostics, fuel equipment, gas distribution valves.

Специфіка експлуатації морських двигунів полягає в тому, що від їхньої безперервної безаварійної роботи залежить життя судна та екіпажу. В даному випадку, надійна робота двигунів електростанції Маһон забезпечує екологічну безпеку життя жителів іспанських островів в умовах автономного існування [1]. Безаварійну роботу двигунів можна забезпечити за допомогою регулярного контролю параметрів робочого процесу в циліндрах. Регулярний періодичний аналіз параметрів робочого процесу в циліндрах двигунів дає можливість оптимізувати їхню роботу, рівномірно розподіляти навантаження між циліндрами та вчасно виявляти небезпечні тенденції у зміні технічного стану основних систем та вузлів [2 – 8].

Періодичний контроль дозволяє виявляти дефекти, що зароджуються під час експлуатації. Прикладами таких дефектів є зниження середнього індикаторного тиску MIP або тиску кінця стиснення P_{comp} , що відразу буде виявлено шляхом аналізу індикаторних діаграм $P(CA, deg)$. Однак існує ряд дефектів, виявити які за допомогою лише аналізу індикаторних діаграм досить складно. Йдеться про дефекти паливної апаратури високого тиску та дефекти механізму управління клапанами газорозподілу.

Саме ці дефекти найчастіше виникають у процесі експлуатації морських двигунів. Особливо це стосується дефектів паливної апаратури високого тиску. Безпосередні вимірювання та аналіз діаграм тиску упорскування палива перед форсунками могли б дати повну діагностичну інформацію про технічний стан паливної системи високого тиску, проте такі вимірювання неможливо проводити на морських двигунах за допомогою переносних пристроїв в умовах експлуатації у зв'язку з сучасними вимогами ІМО та вимогами більшості сертифікаційних морських товариств [9]. Альтернативою прямим вимірам є застосування вібродатчика на магнітній платформі [5 – 8].

Деякі дефекти можуть бути виявлені шляхом аналізу індикаторних діаграм, аналізу їх форми на ділянках стиснення та згоряння, а також аналіз основних параметрів робочого процесу (таблиця 1) [2]. Однак, існує також думка, що аналіз одних тільки індикаторних діаграм $P(CA, deg)$ не достатній для точної діагностики [4 – 8]. Багато ознак дефектів, які виявляються на індикаторних діаграмах, можуть бути викликані різними причинами. Наприклад, пізні згоряння палива в циліндрі, виявлене шляхом аналізу фаз початку згоряння (ignition points), може бути наслідком як пізнього кута впорскування палива, так і зношування прецизійних вузлів паливної апаратури високого тиску і зниження тиску палива перед форсунками при упорскуванні.

Таблиця 1. Параметри робочого процесу, що визначаються в експлуатації

$P_{max} (P_z)$	Maximum combustion pressure and corresponding crank angle, Bar / °CA
P_{comp}	Maximum compression pressure, Bar
$IMEP (MIP)$	Mean Indicated Pressure, Bar
$IPOWER$	Indicated Cylinder Power, kW
$P_{ignition}$	Combustion start pressure and corresponding crank angle, Bar / °CA
$P_{exp} (P_{36})$	Pressure at 36 °CA after TDC
<i>Fuel Injection Timing</i>	Real and Geometrical phases of fuel injection, °CA
<i>Valves Timing</i>	Intake and Exhaust valves timing phases, °CA
<i>Fuel Ignition Delay</i>	Period from the Start of Injection to the Start of Combustion, °CA (ms)
ΔG	Difference between Real and Geometrical phases of fuel injection, °CA

При аналізі одного з найбільш характерних дефектів ЦПГ - зниження компресії в робочому циліндрі - теж існує неоднозначність при аналізі одних тільки індикаторних діаграм. Зниження компресії може бути викликане наступними причинами: зносом втулки циліндра, зносом та/або залипанням поршневих кілець, нещільністю закриття клапанів або порушенням фаз газорозподілу. Всі ці причини спричиняють один наслідок – зниження параметра P_{comp} і за ним P_{max} і MIP . Таким чином, справжня причина дефекту може бути нез'ясованою.

Основними показниками роботи циліндрів, що визначаються за допомогою аналізу індикаторних діаграм, є середній індикаторний тиск та індикаторна потужність циліндрів. Проте точна причина зниження чи збільшення цих показників може бути нез'ясованою без аналізу додаткової інформації. Одним із способів отримання додаткової інформації є

використання математичного моделювання робочого процесу двигуна [10 – 12], що дозволяє у ряді випадків уточнити причини тих чи інших відхилень або дефектів. Тим не менш, можливість вимірювань параметрів, що цікавлять, під час експлуатації є переважною.

За допомогою математичного моделювання ми розглянули наслідки можливих несправностей судових дизельних двигунів. Математичне моделювання дає можливість уточнити вплив заданих параметрів на загальні характеристики робочого процесу двигуна. В перш чергу на його потужність, економічність та екологічність. Математичне моделювання також робить прогнози, які корисні для вчасного виявлення різних несправностей на практиці.

Математична модель базується на квазістаціонарних та одновимірних нестаціонарних системах рівнянь, які описують процеси у відкритих термодинамічних системах, що є складовими загальної термодинамічної системи – двигуна.

Набори квазістаціонарних рівнянь включають перший закон термодинаміки, баланс мас і диференціальні рівняння стану газу. Його можна виразити для однозонних і двозонних відкритих термодинамічних систем в наступному вигляді:

$$\left(\frac{dI_{fuel}}{d\phi} + \sum_1^{n_1} \frac{dI_j}{d\phi} \right) + \frac{\delta Q_{comb}}{d\phi} + \sum_1^{n_2} \frac{\delta Q_{wall,i}}{d\phi} = c_{vm} T \left(\sum_1^{n_1} \frac{dm_j}{d\phi} + \frac{dm_{fuel}}{d\phi} \right) + c_v m \frac{dT}{d\phi} + m T \frac{d(c_v)_T}{d\phi} + p \frac{dV}{d\phi}, \quad (1)$$

Де $dI_{fuel}/d\phi$, $dI_j/d\phi$ – швидкість зміни ентальпії внаслідок масообмінних процесів,

$\delta Q_{comb}/d\phi$ – швидкість виділення тепла внаслідок згоряння палива,

$\delta Q_{wall,i}/d\phi$ – швидкість теплопередачі до стінок системи,

$dm_{fuel}/d\phi$, $dm_j/d\phi$ – масовий витрата палива і масовий витрата газів,

n_1 – кількість взаємодіючих термодинамічних систем, що беруть участь у процесі масообміну, n_2 – кількість стінок, що беруть участь у процесі теплообміну,

p , T , V , m – тиск, температура, об'єм та маса газу у відкритій термодинамічній системі,

c_v , c_{vm} – фактична та середня ізохорні питомі теплоємності.

Математична модель на базі рівняння (1) є основою онлайн-ресурса Blitz-PRO [10], який дає можливість моделювати процеси роботи двигунів внутрішнього згоряння. Сервіс має вільний доступ; можливе моделювання як стаціонарного, так і нестаціонарного режимів роботи двигуна.

За допомогою цього ресурсу був промодельований робочий процес двотактного дизельного двигуна MAN B&W та визначені основні властивості робочого процесу (рис. 1).

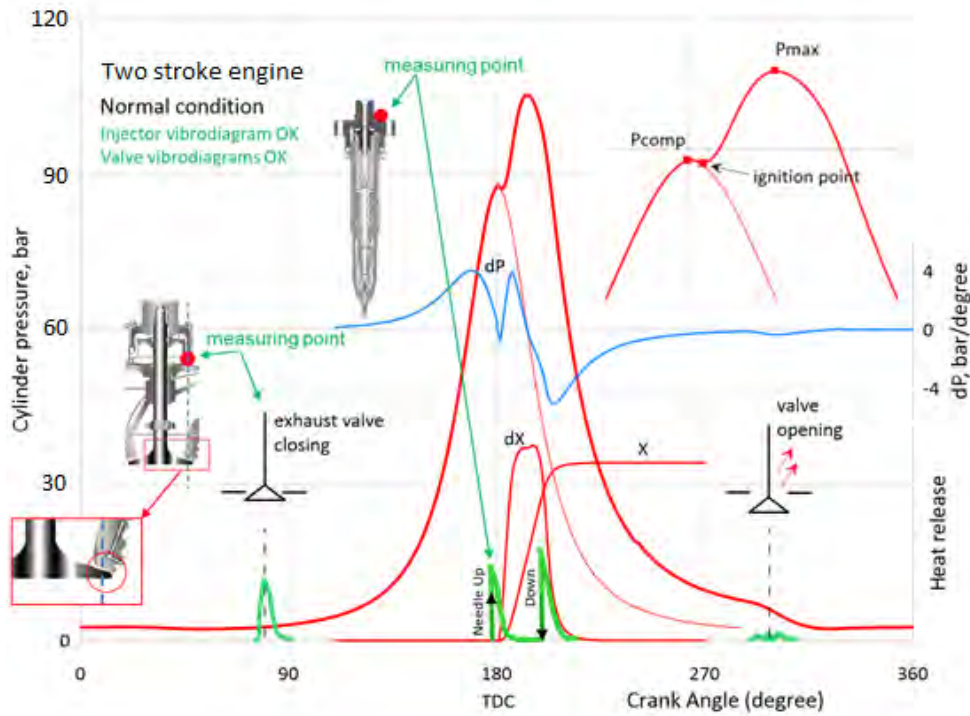


Рисунок 1 – Модель робочого процесу та вібродіаграм форсунки та клапана 2-тактного двигуна

Під час діагностування двигунів на електростанції Mahon був застосований алгоритмічний метод розрахунку та корекції ВМТ [13] тому, що часу на підготовку до діагностування не було і двигуни, як завжди, знаходилися в стані роботи під навантаженням. Було записано кілька режимів навантаження, та були розраховані індикаторні діаграми з вібродіаграмами форсунки, клапана та паливного насосу високого тиску двигуна MAN B&W 10L67GBES, що є в зовнішній презентації. В тезах наведено приклад 1 циліндру під навантаженням 75% від номінальної потужності (рис. 2). На рис. 2 об'єднано (зверху вниз): індикаторну діаграму тиску газів в циліндрі, вібродіаграми торця форсунки, кришки циліндра та відсічки паливного насосу високого тиску. Згідно юридичним вимогам відносно викидів CO_2 [1] а також вимогам ІМО відносно викидів NO_x [9] робочий процес двигуна перестроєно на пізню паливоподачу. Завдяки цьому знижені параметри P_{max} і T_{max} , що значно знижують рівень NO_x в відпрацьованих газах, - мінімум на 3% нижче вимог ІМО.

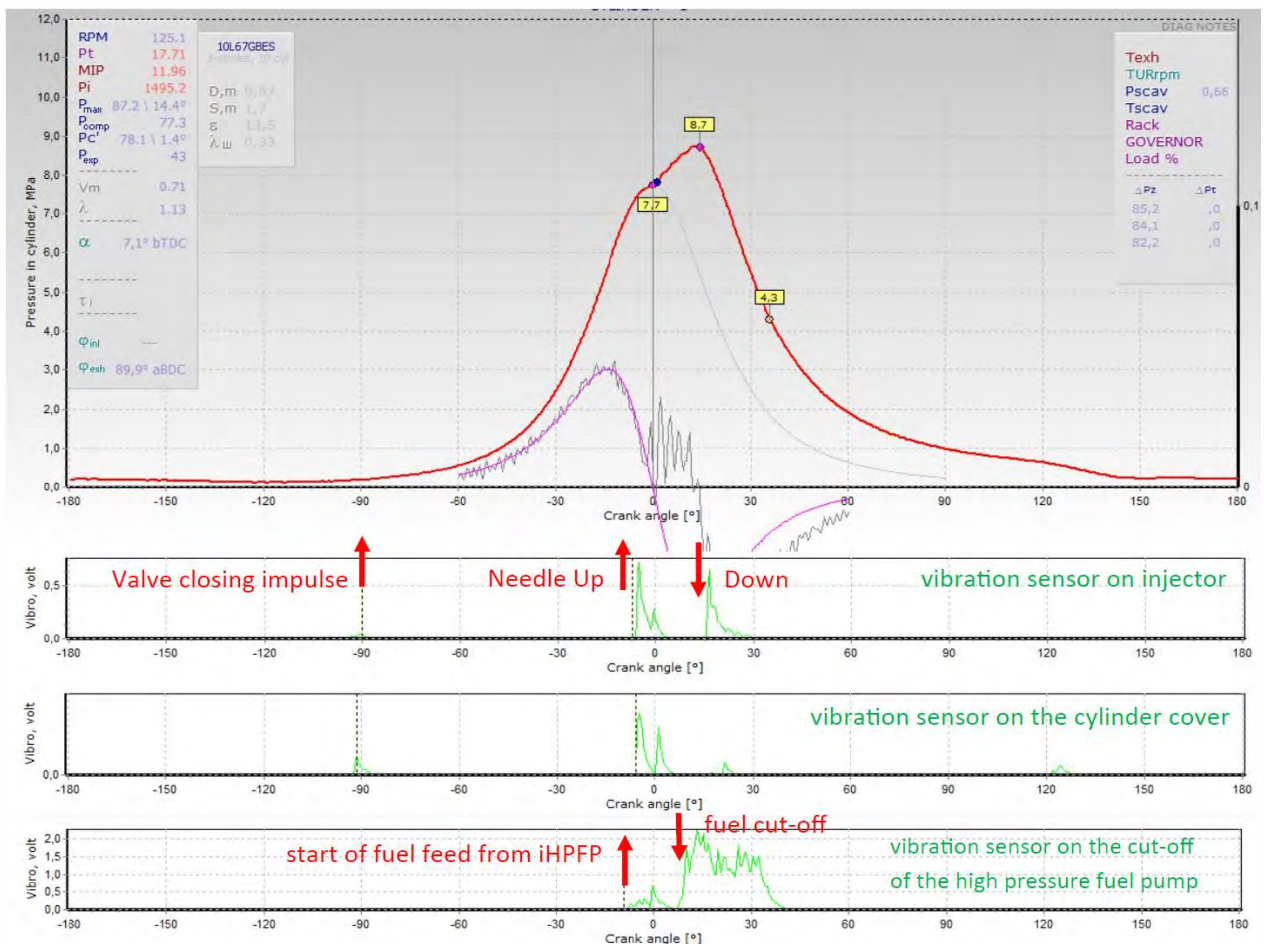


Рисунок 2 – Результат вимірювання робочого процесу та вібродіаграм форсунки, клапана та паливного насоса високого тиску на 2-тактном двигуні MAN B&W 10L67GBES

Аналіз індикаторних діаграм та вібродіаграм робочих циліндрів дав можливість розрахувати індикаторну потужність двигуна та провести ретельний аналіз його технічного стану.

Висновки. Досвід авторів у діагностуванні морських двигунів показав, що аналіз вібродіаграм паливної апаратури та механізму газорозподілу двигуна, записаних паралельно з індикаторними діаграмами, дає хороші діагностичні результати. За допомогою вібродатчика на магнітній платформі можна визначити:

- фази підйому та посадки голки форсунки;
- початок та кінець циркуляції підігрітого важкого палива у паливній системі;
- фази початку подачі та відсічення палива паливним насосом високого тиску;
- фази закриття та, у деяких випадках, відкриття клапанів газорозподілу.

Можлива також непряма оцінка гідроцильності паливної апаратури та тиску впорскування палива. Більше того, така цінна інформація для інженерів, як дійсні фази газорозподілу, раніше була недоступна під час роботи двигуна і визначалася тільки на зупиненому двигуні шляхом низки тривалих маніпуляцій. Крім того, точність визначення фаз газорозподілу залежала від кваліфікації інженера і часто мала суб'єктивний характер.

Така інформація може бути отримана безпосередньо під час експлуатації за допомогою аналізу вібродіаграм. Розглянутий спосіб отримання інформації доступний та зручний у процесі експлуатації. Поряд з алгоритмічним методом розрахунку та корекції ВМТ, який застосовується в переносних діагностичних системах, аналіз вібродіаграм паралельно з індикаторними діаграмами $P(CA, deg)$ дозволяє отримати таку інформацію, яка раніше була доступна тільки в лабораторних умовах.

Аналіз індикаторних потужностей циліндрів та параметрів робочих процесів дозволив інженерам електростанції Mahon провести налаштування фаз паливоподачі та

газорозподілу таким чином, щоб досягти максимальної індикаторної потужності та економічності робочого процесу водночас не перевищуючи допустимий рівень NOx.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mahon central power station and health. – Available from: <https://english.gobmenorca.com/mahon-central-power-station-and-health/>
2. Heywood JB. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill. 1988.
3. Neumann S. High temperature pressure sensor based on thin film strain gauges on stainless steel for continuous cylinder pressure control. CIMAC Congress. Hamburg. Digest. 2001: 1-12.
4. Neumann S, Varbanets R, Kyrylash O, Yeryganov OV, Maulevych VO. Marine diesels working cycle monitoring on the base of IMES GmbH pressure sensors data. Diagnostyka. 2019;20(2):19-26. <https://doi:10.29354/diag/104516>.
5. Varbanets RA. Diagnostic control of the working process of marine diesel engines in operation. Dissertation of the Doctor of Technical Sciences. Odessa, 2010.
6. Varbanets R, Fomin O, Pištěk V, Klymenko V, Minchev D, Khrulev A, et al. Acoustic Method for Estimation of Marine Low-Speed Engine Turbocharger Parameters. Journal of Marine Science and Engineering [Internet]. 2021 Mar 14; 9(3): 321. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/jmse9030321>
7. Varbanets, R., Karianskiy, A. Analyse of marine diesel engine performance. Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects, Gdansk, Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology, 2012, Vol. 7, No. 1, pp. 269-275.
8. Varbanets R, Karianskiy S, Rudenko S, ... Improvement of diagnosing methods of the diesel engine functioning under operating conditions. SAE Technical Paper 2017-01-2218, 2017.
9. IMO (2020), International Convention for the Safety of Life At Sea, part B. Prevention of fire and explosion, paragraph 2.2.5.2. SOLAS Consolidated Edition 2020. London: International Maritime Organization.
10. Minchev D, Varbanets R, Aleksandrovskaya N. and Pisintsaly L. Marine Diesel Engines Operating Cycle Simulation for Diagnostics Issues. Acta Polytechnica, 3(61):428–440, 2021 Aug 7. Available from: <http://dx.doi.org/10.14311/AP.2021.61.0435>.
11. Blitz-PRO by D. S. Minchev. User's manual. – Available from: <http://blitzpro.zeddmalam.com/extra/Tutorial/Help.pdf>
12. D. S. Minchev, R. A. Varbanets. Centrifugal compressor performance maps treatment for internal combustion engines operating cycle simulation. Internal combustion engines 1'2021. Doi: 10.20998/0419-8719.2021.1.02
13. Varbanets, R. A., Zalozh, V. I., Shakhov, A. V., Savelieva, I. V., and Piterska, V. M. (2020). Determination of top dead centre location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. Diagnostyka, 21(1), pp.51-60. <https://doi.org/10.29354/diag/116585>.

Варбанець Роман Анатолійович д.т.н. професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету. консультант IMES GmbH, м. Одеса, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6730-0380>; roman.varbanets@gmail.com.

Кучеренко Юрій Миколайович к.т.н. доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1568-165X>; kucherenko.iurii@gmail.com.

Мінчев Дмитро Степанович к.т.н. доцент кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічне обслуговування» Національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5960-3063>; misaidima@gmail.com.

Кирнац Владислав Іванович к.т.н. доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету, м. Одеса, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2949-3577>; kirnacsvlad@gmail.com.

Кирилаш Олена Іванівна к.т.н. доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету, м. Одеса, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2949-3577>; kirilashelena@gmail.com.

Stefan Neumann, генеральний директор IMES GmbH, дипломований інженер з енергетики та теплотехніки, 87600 Kaufbeuren Germany, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4001-1479>; info@imes.de.

АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ СХЕМ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ПРАЦЮЮЧИХ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

*Погорлецький Д.С.¹, Грицук І.В.¹, Худяков І.В.¹, Погорлецька Н.В.¹,
Український Є.О.², Білай А.В.²*

*¹Херсонська державна морська академія
(Україна)*

*²Приазовський державний технічний університет
(Україна)*

Вступ. Теплова підготовка транспортних засобів (ТЗ), поліпшення їх показників у поєднанні зі складними питаннями, безпечного існування та експлуатації в природному середовищі потребує застосування універсальних методів, що повинні давати можливість оцінки складних технічних об'єктів, їх впливу на навколишнє середовище [1]. Серед відомих наукових методів вказаним вимогам відповідають методи системного аналізу, які надають можливість кількісного порівняння варіантів досліджуваної системи з врахуванням зв'язків, у тому числі, з навколишнім середовищем [1,2].

Використання методів системного аналізу при формуванні і оцінюванні властивостей ТЗ, працюючих на газовому паливі, пов'язано із необхідністю врахування впливу великої кількості зовнішніх факторів та внутрішніх параметрів. Це стосується як ТЗ, з його особливостями, газової апаратури і особливостей побудови бортових систем теплової підготовки (СТП). За рахунок використання методів системного аналізу з'являється можливість поєднання вказаних факторів і особливостей, а також створюється на цій основі математичний апарат, який дозволяє аналізувати властивості ТЗ, працюючих на газовому паливі, в залежності від їх параметрів і комплектації у змінних умовах експлуатації [1,3]. Аналіз структурних схем СТП транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, дає можливість здійснювати прогнозування майбутнього розвитку, в частині ТЗ, газової апаратури, і в частині СТП [4-6].

Численні класифікації методів формалізованого представлення складних систем, серед яких виділяють, групи методів формалізованого представлення: аналітичні, теоретико-множинні, статистичні, семіотичні, логічні, лінгвістичні, графічні [7]. Загальна спрямованість означених класифікації полягає в формалізації поставлених задач, якщо вони не можуть бути вирішені в рамках попередньої групи методів [7]. Застосування методів системного аналізу в процесах дослідження властивостей ТЗ, працюючих на газовому паливі, дозволяє створити методіку системного аналізу, яка може бути використана під час поліпшенні показників її властивостей при застосуванні засобів теплової підготовки [7]. Під час формування системного підходу для здійснення аналізу властивостей транспортної техніки методами морфологічного аналізу користувались багато авторів. Серед них найбільш цікаві роботи [1-16]. В дослідженнях не використовували вказаний підхід для СТП транспортних засобів, працюючих на газовому паливі. Вважаємо, що врахування особливостей застосування газового палива в ТЗ при забезпеченні його теплової підготовки потребує врахування інших, не досліджених особливостей конструкції, процесів і зв'язків з оточуючим середовищем ТЗ, двигуна та СТП. Під час проведення аналізу структурних схем СТП транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, відповідно до загальної методіки наукового дослідження [7-12], виконано систематизацію вірогідних схем варіантів СТП для ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, з використанням методу морфологічного аналізу. Виділено функціональні елементи зі складовими: ТЗ, переобладнаний для роботи на газовому паливі, система теплової підготовки ТЗ переобладнаного для роботи на газовому паливі. Для 9-и основних морфологічних ознак функціональних елементів системи складено перелік варіантів (від 3 до 6) та їх технічної

реалізації, від них залежить досягнення цілі функціонування системи. Кожна з морфологічних ознак характеризується функцією, конструктивним рішенням чи системою, режимом і станом роботи системи, формою взаємодії складових системи, від чого залежить вибір можливого вирішення проблеми теплової підготовки ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, та можливість функціонування СТП. Основні морфологічні ознаки СТП ТЗ на етапі здійснення теплової підготовки приведено у вигляді морфологічної матриці представлені в роботах [1-7]. Відповідно до матеріалів і положень, розглянутих у джерелах [6-10], метод дослідження, оснований на морфологічній структурі окремих складових СТП ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, у складі самого ТЗ, обладнаного СТП на основі теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП), що дозволяє проаналізувати різні об'єкти, звертаючи увагу на особливості будови та призначення. Для поєднання морфологічних формул розглянутих варіантів додано окремі схеми ознак відповідно до варіанта з властивими показниками. Сформовані морфологічні матриці містять у собі, велику кількість несумісних варіантів, це є недолік даного методу, його перевагою є багатоваріантність (кількість розглянутих варіантів $4,86 \cdot 10^6$). Даний метод, заснований на морфології об'єктів, що дозволяє аналізувати різні структури об'єкта, виникаючих з закономірностей побудови [1-20].

Схема СТП у складі ТАФП для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі в базовому варіанті складається з таких ознак:

$$[(x_{1.1} + x_{1.2}; x_{2.1}; x_{3.1}; x_{4.1}; x_{5.3}) + (x_{6.1}; x_{7.1}; x_{8.1}; x_{9.1})]$$

Де механічний транспортний засіб ($x_{1.1}$), який оснащено двигуном за призначенням ($x_{1.2}$) працюючим на рідкому паливі ($x_{2.1}$), обладнаним газовим редуктором-випарником ($x_{3.1}$), який під'єднано послідовно до дросельної заслінки ($x_{4.1}$), СТП виконана у складі теплового акумулятора ($x_{5.3}$ і $x_{6.1}$), від нього виконується прогрів системи охолодження двигуна ТЗ (охолоджувальної рідини) ($x_{7.1}$), в період передпускової теплової підготовки двигуна ТЗ до 50°C ($x_{8.2}$), під час теплової підготовки нерухомого ТЗ у режимі холостого ходу ($x_{9.1}$). Запропоновані різні варіанти схем СТП двигунів ТЗ з різним компонуванням, їх морфологічні формули мають вигляд, який має різні варіювання під час проведення дослідження (рис. 1).

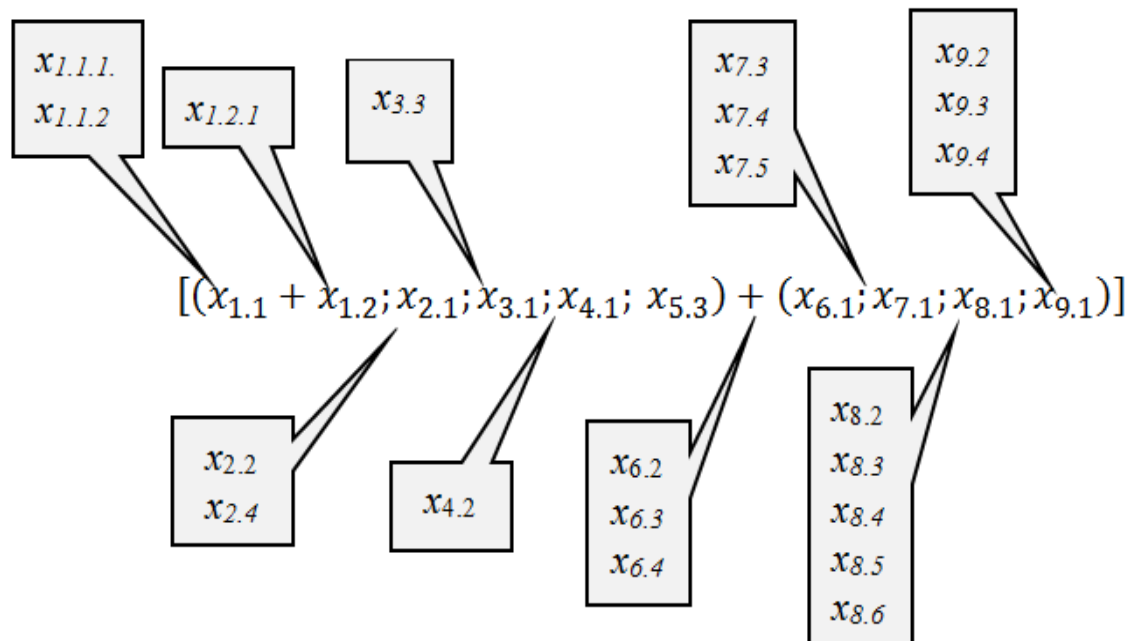


Рис. 1 – Морфологічна формула

Для виконання поставлених задач було розроблено принципову схему СТП на основі ТАФП для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі, яка входить до конструкції систем охолодження і випуску відпрацьованих газів двигуна ТЗ. Це відбувається під час прогріву охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна ТЗ і забезпечує перемикання системи живлення двигуна ТЗ від рідкого на газове паливо. СТП двигуна ТЗ з утилізацією теплоти відпрацьованих газів та передачею теплової енергії ТАФП, складається з ТАФП, з'єднаного з системою охолодження, і маючого можливість заряджатися від теплової енергії відпрацьованих газів двигуна ТЗ [1-16]. Після проведеного морфологічного аналізу і визначення конструктивних та технологічних особливостей, розроблено схему СТП двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, з використанням ТАФП [7-23]. Відповідно до схеми СТП двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі з СТП на основі ТАФП, який підтримує температуру охолоджувальної рідини при зупиненому двигуні у межах, заводської інструкції газового редуктора, для пуску на газовому паливі, не нижче + 50 °С за низьких температур навколишнього середовища [7-13].

Система працює так: під час зменшення температури теплоносія в ТАФП підтримання температури виконується за рахунок теплоти відпрацьованих газів двигуна, шляхом здійснення його роботи у циклічному режимі. Теплова підготовка двигуна ТЗ з використанням СТП виконується за рахунок передпускового та післяпускового прогріву охолоджувальної рідини з використанням наступних варіантів комплектації системи: при прогріві двигуна ТЗ з використанням штатної системи; при використанні СТП з ТАФП; при поєднанні циклічного режиму роботи двигуна ТЗ та СТП з ТАФП. Тривале зберігання теплової енергії охолоджувальної рідини двигуна ТЗ за допомогою використання СТП виконується у наступних варіантах комплектації системи: зберігання теплової енергії з використанням штатної системи двигуна ТЗ; використання СТП з ТАФП; використання тільки ТАФП.

Під час пуску двигуна ТЗ після тривалої зупинки або зберігання, включається СТП, яка використовує ТАФП, який працює за власним алгоритмом. Під час роботи двигуна та температури охолоджувальної рідини в системі охолодження більше + 50 °С спеціальна заслінка переводиться у положення, коли відпрацьовані гази проходячи через теплообмінник заряджають ТАФП [1-16]. Після зарядки теплового акумулятору, заслінка переводиться у положення, коли відпрацьовані гази двигуна ТЗ виходять у вихлопну трубу, для контролю температури відпрацьованих газів встановлено датчик температури [7-13]. Робота СТП проходить на основі даних від додаткових датчиків температури і штатного датчика температури газового редуктора, отримана інформація обробляється в блоці керування та подається сигнал на блок керування газовим редуктором. Відповідно до показників температури, система вираховує оптимальну температуру охолоджувальної рідини, якщо під час роботи двигуна ТЗ температура охолоджувальної рідини опуститься нижче + 50 °С, тоді після отримання сигналу від датчиків температури, до блока керування системою регулювання температури двигуна ТЗ, надходить сигнал і вмикається водяний насос з незалежним електроприводом, який подає охолоджувальну рідину з системи охолодження двигуна до теплового акумулятору, а з нього відбирається накопичена від відпрацьованих газів тепла енергія, до системи охолодження двигуна ТЗ [1-17]. За рахунок цього підтримується, обумовлена інструкцією двигуна та газової системи живлення, умова підтримання температури в системі охолодження та газовому редукторі, не нижче + 50 °С [10-12, 16, 23].

Застосування даної СТП під час експлуатації ТЗ переобладнаного для роботи на газовому паливі, дозволить за рахунок керування двигуном ТЗ і системою керування температур охолоджувальної рідини двигуна ТЗ з ТАФП покращити паливну економічність та екологічні показники, в процесі утилізації теплоти від ТАФП при забезпеченні передпускового прогріву системи охолодження, без запуску двигуна ТЗ, завдяки використанню накопиченої теплової енергії в ТАФП, зменшити втрати теплової

енергії з системи передпускового прогріву та часу прогріву двигуна ТЗ після передпускової теплової підготовки [1-13]. Післяпусковий прогрів двигуна ТЗ до заданої робочої температури виконується під час роботи у режимі холостого ходу, що необхідно для зарядки ТАФП, який є складовою частиною СТП.

Висновки. Виконана систематизація і аналіз можливих варіантів структурних схем і систем теплової підготовки для ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на зрідженому газовому паливі, з допомогою використання метода морфологічного аналізу, яким виділені основні функціональні елементи з складовими, які мають місце в реальних умовах експлуатації ТЗ. Запропоновано можливість використання системи теплової підготовки ТЗ [1-13] з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, та способи її застосування у процесах прогріву під час експлуатації ТЗ. Під час виконання поставлених задач була використана розроблена раніше принципова схема СТП на основі ТАФП для ТЗ, яка конструктивно входить до систем охолодження і випуску відпрацьованих газів двигуна ТЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gritsuk I. Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator / I. Gritsuk, Y. Gutarevych, V. Mateichyk, V. Volkov // SAE Technical Paper. – 2016. – 2016-01-0204, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>.
2. Pohorletskyi, D., Gritsuk, I., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., “Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems),” SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, doi:10.4271/2020-01-2031.
3. Матейчик В. П. Системний підхід до аналізу структурних схем енергоустановок транспортних засобів / В. П. Матейчик // Вісник НТУ“ХПІ” №7(т.2). – Харків, НТУ“ХПІ”. –2002. – С.162-167.
4. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посіб./ М. Ф. Дмитриченко, В. П. Матейчик, О. К. Грищук, М. П. Цюман // К.: НТУ, 2014 – 168.
5. Volodarets, M., Gritsuk, I., Chygyryk, N., Belousov, E., Golovan A., Volska O., Hlushchenko V., Pohorletskyi D., Volodarets O., “Optimization of Vehicle Operating Conditions by Using Simulation Modeling Software,” SAE Technical Paper 2019-01-0099, 2019, doi:10.4271/2019-01-0099
6. Грищук І. В. Концепція забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації: дис. ... докт. техн. наук : 05.22.20 / ХНАДУ. Харків, 2016. 552 с.
7. Погорлецький Д.С. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Державний університет «Житомирська політехніка». м. Житомир, 2021. 237 с.
8. Матейчик В.П. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з використанням бортових діагностичних комплексів / Матейчик В.П., Волков В.П., Комов П.Б., Грищук І.В., Комов А.П., Волков Ю.В. // Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». – К.: НТУ, 2014. – Випуск 13, с. 126-138.
9. Погорлецький Д.С. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS. Монографія /за наук. ред. проф. Грищука І.В. Херсон: ХДМА, 2019. - 442 с. ISBN: 978-966-2245-53-0. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики.

10. Pohorletskyi, D., Gritsuk, I., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., “Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems),” SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, doi:10.4271/2020-01-2031.

11. Погорлецький Д. С. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації / Д. С. Погорлецький, В. П. Матейчик, А. П. Полівінчук, М. В. Володарець, М. П. Цюман // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь : ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. – Вип. 19. – Т. 4. – С. 286.

12. Грицук І. В. Особливості формування системи теплової підготовки двохпаливних транспортних засобів, працюючих на рідкому нафтовому паливі і зрідженому нафтовому газі / І. В. Грицук, Д. С. Погорлецький, Р. В. Симоненко // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту [Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції]: збірник наукових праць. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – С. 112.

13. Д.С. Погорлецький, І.В. Грицук, Д.С. Адров, А.В. Білай. Особливості визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів, що працюють на газовому паливі. Двигуни внутрішнього згоряння // Науково-технічний журнал. Харків: НТУ “ХПІ”. – 2021. – №1. С. 102.

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Худяков І.В., Грицук І.В., Манжелей В.С., Черненко В.В.

ХДМА (Україна)

Рижова В.Ю.

International Technological University «Mykolayiv Polytechnics» (Україна)

Володарець М.В., Український Є.О.

ПДТУ (Україна)

Постановка проблеми. Надійне та довгострокове функціонування технічної інфраструктури сучасного суспільства визначає основні показники його життєдіяльності й добробуту та, у значній мірі, пов'язане з еколого-економічними характеристиками, такими, як вплив на навколишнє середовище, питоме використання енергоносіїв, витрати на створення, експлуатацію, ремонт та регенерацію машин та їх елементів.

Поступовий розвиток нових видів перевезень призвів до збільшення часу перебування рухомого складу далеко від основної виробничої бази, і, внаслідок цього, підвищилась роль профілактичного технічного обслуговування (ТО) автомобілів. Тому створення гнучкої «адаптивної» системи контролю та управління технічним станом автомобіля з елементами індивідуального підходу до кожного конкретного автомобіля стало першочерговим завданням.

Під адаптивною системою технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) автомобілів розуміється система, яка завдяки зміні своєї структури і значень параметрів, може пристосовуватися до зміни внутрішніх і зовнішніх умов. Рівень, якого досягла сучасна технічна діагностика (ТД), дозволяє при технічній експлуатації автомобілів реалізувати практично будь-які завдання щодо виявлення та прогнозування параметрів технічного стану автомобілів [1-3].

ТО і Р умовно називають індивідуальним технічним обслуговуванням (ІТО). Вид робіт в цьому випадку призначають на основі індивідуальних діагностичних даних.

У зв'язку із застосуванням на автомобілях складних високоефективних електронних систем управління, вбудованої бортової діагностики, розвитку супутникових систем навігації і мобільного зв'язку, сучасних технологій з'явилася можливість не тільки контролювати географічне положення транспортного засобу (ТЗ) і здійснювати зв'язок з диспетчером підприємств автомобільного транспорту (АТ), але і здійснювати дистанційний моніторинг з оцінкою рівня технічного стану автомобіля, що цілком дозволяє реалізувати практично будь-які завдання по виявленню та прогнозуванню технічного стану автомобіля.

Наявна система ТО і ремонту сформувалася на базі спрощеної моделі функціонування транспортної інфраструктури:

Це в свою чергу дозволить перейти до індивідуальної (адаптивної) системі ТО і Р автомобілів [4, 5].

В адаптивній системі прогнозування може проводитися на підставі результатів обробки діагностичної інформації відповідно до схеми прогнозування та управлінням технічним станом автомобіля із застосуванням автоматичних систем управління (АСУ) [6, 7].

Основні результати дослідження. В даному випадку інформацією про зміну технічного стану автомобіля є значення параметрів, які використовуються для прогнозування. Це календарні дати і значення напрацювання автомобіля, які відповідають зафіксованим значенням параметрів, а також інша інформація, яка знаходиться в центрі діагностування і отримана на основі комп'ютеризованих засобів діагностики. Вся ця інформація передається АСУ для обробки і це є основою формування масиву нормативно-довідкової і діагностичної інформації, необхідної для організації процесу прогнозування. Саме тому застосовують для ТЕА спеціально розроблені програмні засоби.

Основою автоматизованої адаптивної системи є база даних про автомобіль. Вона являє систему взаємопов'язаних таблиць. У ній розміщується інформація різного роду і тому вона базується на системі управління базами даних – Microsoft Access, що забезпечує відносно просте створення і коригування бази даних.

Технічне забезпечення сучасної системи прогнозування становить діагностичне обладнання, що застосовується в центрі діагностування, а також обчислювальні засоби АСУ технічним станом автомобілів.

Перший етап моніторингу транспортного засобу - це оцінка ефективності транспортного засобу для стандартних циклів руху. Це дає можливість оцінити ефективність деяких засобів для поліпшення паливної економічності і екологічності транспортного засобу рухових установок відповідно до конкретних умов експлуатації транспортного засобу. Математична модель системи «двигун-каталітичний нейтралізатор» використовується для цієї мети. Математична модель заснована на методі балансу обсягу. Модель дозволяє визначити економію палива, потужність двигуна і екологічні характеристики відповідно до його конструктивними параметрами, режим роботи, тип палива і параметри навколишнього середовища. Вхідні дані для моделювання є фактичні дані операції двигуна, отримані з циліндра датчика тиску; параметри двигуна в стаціонарних режимах роботи, отриманих в лабораторних експериментах; бортовий діагностики (БД) системні дані для відповідних режимів руху транспортного засобу. Набір даних в циліндрі робочих параметрів тіла, економія палива, потужність двигуна і екологічних характеристики в режимах роботи відповідно до режимів руху транспортного засобу в циклі руху визначаються під час моделювання. Економіка автомобільного палива та екологічні показники в циклі водіння наведені результати моделювання.

Другий етап моніторингу транспортних засобів є оцінка безпеки навколишнього середовища, коли транспортний засіб знаходиться в русі на

реальному маршруті. Це можливо за допомогою OBD даних і поточних параметрів розташування транспортного засобу на основі системи глобального позиціонування (GPS даних). Набір даних реальних характеристик маршруту транспортного засобу визначаються відповідно до поточними даними про місцезнаходження транспортного засобу. Це є основою для визначення реальних сил опору руху транспортного засобу по маршруту. Використовуючи математичну модель системи «дорожній транспортний засіб», екологічна безпека оцінюється, коли транспортний засіб знаходиться в русі за певним маршрутом.

В цілому виконаний аналіз існування і створення адаптивних систем ТО і Р дозволяє підкреслити актуальність питання інформаційного забезпечення прогресивних систем ТО і Р.

Висновки. Розвиток інформаційного забезпечення автотransпортних процесів є, по-перше, умовою переходу автомобільного транспорту до автоматизованого управління технічним станом автомобілів на підставі гнучких «адаптивних» автоматизованих систем з індивідуальною корекцією періодичності та обсягів технічного обслуговування.

Моніторинг якості руху і технічного стану транспортних засобів дає можливість технічній службі отримувати інформацію про залишкову працездатність транспортних засобів і своєчасно здійснювати профілактичні впливи на основі їх параметрів технічного стану. Для диспетчера (суб'єкта управління) випереджаюча діагностика ТЗ є однією з технологій попередження втрат часу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2018. – 300 с.
2. Організація баз даних: практичний курс : Навч. посіб. для студ. / А. Ю. Берко, О. М. Верес; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». - Л., 2003. - 149 с.
3. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотransпортний науково-дослідний і проектний інститут; За заг. ред. А.М. Редзюка. –К.: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2005. – 400 с.
4. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Кузнецов Е.С. – М.: Транспорт, 1982. – 224 с.
5. Зарубкин В.А. Оптимизация системы технического обслуживания и ремонта автомобилей в АТП / В.А. Зарубкин – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1976. – 126 с.
6. Волков В.П. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем / В. П. Волков, В. П. Матейчик, П. Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – №64 (970). – С. 36–42.

7. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., “Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator,” SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, doi:10.4271/2016-01-0204.

ВПЛИВ АТМОСФЕРНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В ЧАСТИНІ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Е.Х. Рабінович, В.О. Зуєв

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

І.В. Грицук, Д.С. Погорлецький

ХДМА (Україна)

М.В. Володарець, Є.О. Український

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна

В.Ю. Рижова

Міжнародний технологічний університет "Миколаївська політехніка", Миколаїв, Україна

У доповіді наведені маловідомі результати досліджень впливу вітру на опори руху автомобіля, заходи щодо його урахування при плануванні експерименту та методи його обчислення при обробці отриманих даних.

Ключові слова: вітер, швидкість, напрямок, стабільність, реєстрація, обчислення.

The report presents little-known results of research on the impact of wind on the resistance of the car, measures to take it into account when planning an experiment and methods of calculating it when processing the data.

Key words: wind, speed, direction, stability, registration, calculation.

Постановка проблеми. Дорожні випробування – заключний етап створення нової моделі автомобіля. Дорожні дослідження експлуатаційних показників роботи транспорту – чи не єдиний вид експериментальних досліджень, доступний для небагатих вузівських науковців. У нашій практиці найчастіше перевірялася якість автомобільного палива, зокрема бензоспиртових сумішей, що пропонуються для зменшення витрати імпортованого бензину. У таких дослідженнях йдеться про отримання результатів з точністю до одиниць відсотків, а краще – до десятих часток відсотка. І отут виступає на перший план вітер – у наших краях безперервний та нестабільний. Публікуються зведення погодних даних від професійних метеоцентрів, але на метеостанціях напрямок і швидкість вітру вимірюють на висоті 10-12 м, тоді як автомобілістів цікавить вітер десь на рівні 0,6-1,0 м - це висоти розташування центру тиску зустрічного повітряного потоку. У табл. 1 і на рис.1 показані результати вимірювань швидкості вітру у місті, на висотах від 245 до 1640 мм над асфальтом.

Таблиця 1. Швидкість вітру на різній висоті [1]

Висота, мм	05.06.2016 1 серія	05.06.2016 2 сер., середн.	27.08.2016 середні
1	2	3	4
1640	2,0; 2,31	1,403641	1,02202
1195	2,01		1,01222
980	1,21		1,140179
750	1,44; 1,01		1,753156
560	1,05		1,653771
340		1,29202	1,622467
245	1,6	0,938758	1,507803

Швидкість вітру, м/с

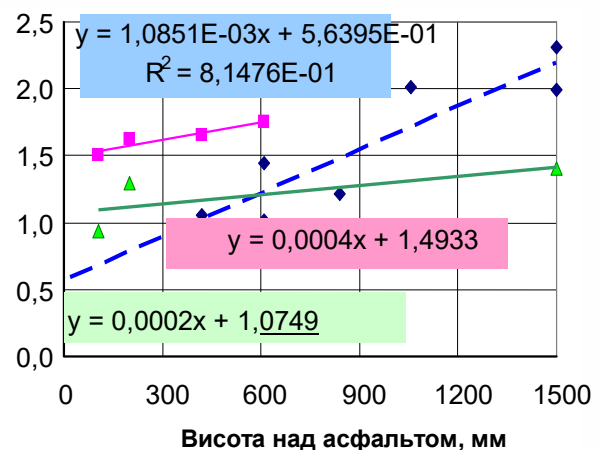


Рис. 1 - Залежності швидкості вітру на різних висотах над рівнем асфальтного дорожнього покриття

Основні результати дослідження. Видно, що залежність швидкості вітру від висоти практично лінійна. У літературі ж наводиться параболічна крива. На жаль, ця крива дуже невизначена і сильно залежить від так званої шорсткості земної поверхні (водне дзеркало, трава,

кущі, ліс, сільська, міська, промислова забудова тощо). Тому доводиться вимірювати швидкість вітру безпосередньо на місці майбутнього експерименту. На рис. 2 наведені реальні діаграми зміни швидкості вітру з часом, записані в наших давніх експериментах. Вони явно показують часту зміну швидкості приблизно на $\pm 0,5$ м/с, при чому проміжки між точками визначає не лише сам вітер, а ще й тривалість кожного вимірювання згідно з інструкцією до анемометра МС-13...

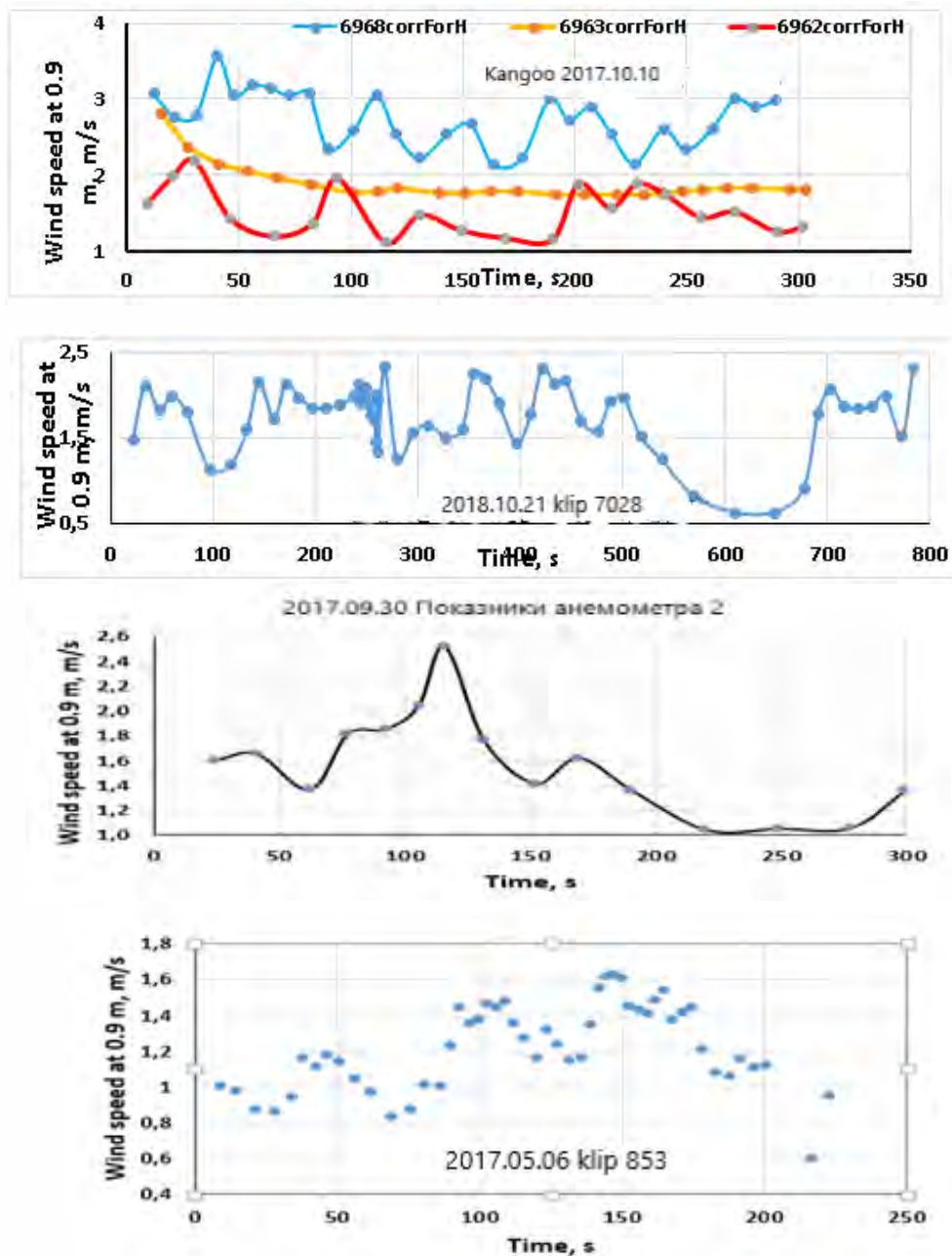


Рис. 2. - Діаграми швидкості вітру у різних експериментах

Картину ускладнює підйомна сила, що виникає при обтіканні машини повітряним потоком. Вона залежить не від точки прикладення рівнодійної, а від форми автомобіля, може відчутно змінювати навантаження на ведучі колеса, викликати їхнє проковзування чи пробуксовку на великих швидкостях... Через це питання про висоту центра тиску стає менш критичним. Старий радянський ГОСТ наказує висоту 1 метр. А на дослідників вже чекає наступна складність – нестабільність вітру. Це помітно у першому-ліпшому прогнозі погоди, наприклад від Гісметео, де за рядками – час доби, швидкість, м/с, напрямом («З» - із заходу, ПдЗ – із південного заходу, ПнЗ із північного заходу) і нарешті – швидкість у поривах, м/с.

0 ⁰⁰	3 ⁰⁰	6 ⁰⁰	9 ⁰⁰	12 ⁰⁰	15 ⁰⁰	18 ⁰⁰	21 ⁰⁰
6	6	3	6	7	7	5	3
→ 3	↗ ПдЗ	→ 3	→ 3	→ 3	→ 3	↘ ПнЗ	→ 3
Пориви							
19	15	9	9	10	10	7	7

За нашими спостереженнями, напрямок вітру може змінюватися також різко і непередбачено. На рис. 3 (запис у програмі Virtual Dub) добре видно, наскільки змінився напрямок стрічки – у кадрі 27 (час 0,900 с) вона вказує практично уперек дороги, а у кадрі 122 (час 4,067 с, тобто через 3,167 с) вона відхилилася у наш бік принаймні на 120°.



Рис. 3. Демонстрація різкої зміни напрямку вітру за 3,167 секунди

При обробці результатів експерименту дослідники можуть використовувати залежності швидкості зустрічного потоку повітря від часу. Традиційно їх описують лінійними або, у кращому разі, квадратичними функціями. Це – відлуння тих часів, коли наукові розрахунки виконували на дерев'яних рахівницях та залізних «Феліксах». Але зараз навіть прості інженерні калькулятори забезпечують науку більш досконалішими інструментами. І це дає можливість отримувати точніші картини досліджуваних процесів. Так, виявилось, що на швидкостях нижче 25...27 км/год опір коченню – величина зовсім не постійна, він спадає практично до нуля плавною, все крутішою кривою (рис. 4 за даними НАМІ). На цьому рисунку напівжирна штрихова крива побудована за даними полігонного експерименту, інші – розрахункові графіки апроксимації різними функціями. Практично точний результат дає поліном 6 степеня.

Багато разів ми отримували такий «дзьоб» у власних експериментах та розрахунках, запропонували емпіричні формули для розрахунку коефіцієнта опору коченню, але навіть найкращі з них дають варіацію до $\pm 0,001$ при середньому значенні 0,010. Це не дивно: шини однієї розмірності, виготовлені різними фірмами, часто різняться за властивостями дуже серйозно. Так, у шин 205/55 R16 V коефіцієнт опору коченню, виміряний на барабанному стенді, варіює від 0,00969 (Michelin Primacy HP) до 0,01309 (Toyo Proxes CF1) - розбіжність у 1,35 рази. Слід додати, що навіть у одній шини в різних точках по колу різняться і радіуси, і пружні властивості... які до того ж можуть змінюватися зі зносом шини. Оцею словом, це явище досліджене недостатньо, тому, наприклад, фахівці США просто обмежують свої публікації швидкістю 15 км/год [3] (рис. 5a), а от НАМІ без коливань показує постійний опір коченню на рівні 0,01 аж до повної зупинки [4] (рис. 5b). Зауважимо, що у складних юридичних казусах нехтування цим явищем може призвести до судової помилки, тобто безпідставного визнання винним водія або механіка чи діагноста. Тому краще обмежувати дорожні експерименти знизу, наприклад, швидкістю 27 км/год (природно, крім випадків вивчення руху автомобіля на менших швидкостях).

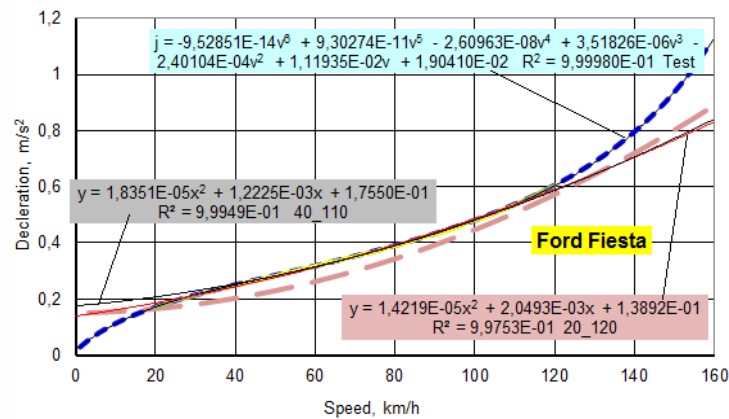
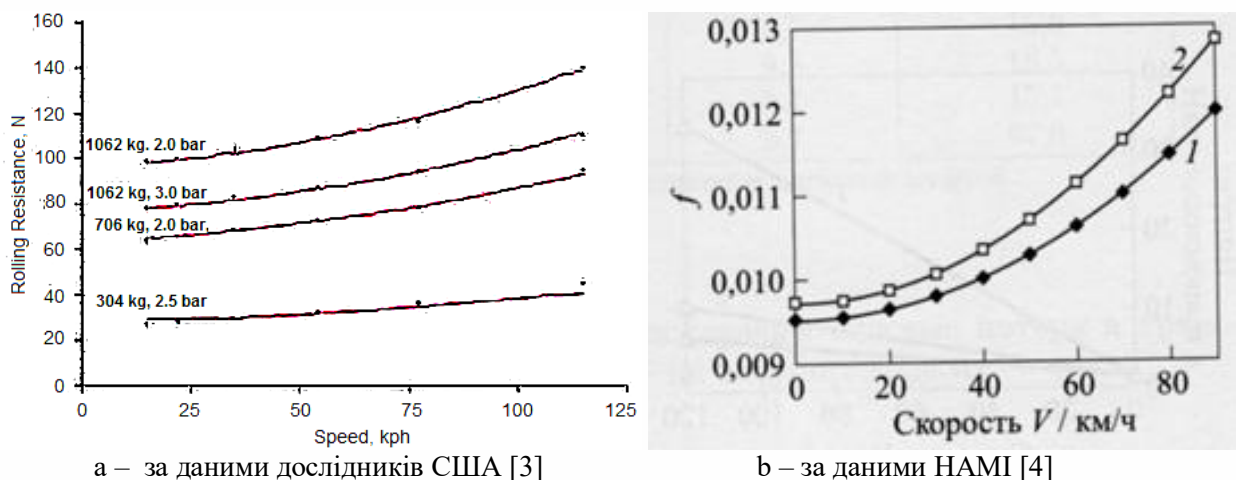


Рис. 4. Уповільнення руху накатом автомобіля Ford Fiesta [2]



а – за даними дослідників США [3]

б – за даними НАМІ [4]

Рис. 5. Залежність опорів коченню від швидкості

Висновки. Отже, питання про опори руху на дорозі під дією вітру на різних швидкостях складніше, ніж здається, і в окремих випадках зіставлення результатів експерименту з теоретичними розрахунками стає неможливим через недосконалість теорії. Що ж можна порадити експериментаторам?

1. Відповідальні експерименти проводити лише у безвітряні періоди;
2. Якщо 1) неможливо, відповідні експерименти проводити при швидкості вітру вздовж осі руху на висоті 1 м над дорожнім покриттям не більше 3 м/с;
3. Весь час виконання заїздів вимірювати і реєструвати напрямок та швидкість вітру, за можливістю – у декількох точках маршруту;
4. За можливістю попередньо обстежити маршрут, виявити місця можливих порушень рівномірності вітру, виключити їх з маршруту, а якщо це неможливо, реєструвати у записах швидкості моменти проходження цих місць;
5. Не довіряти літературним даним про коефіцієнти опорів коченню та повітря;
6. За відсутності інших виходів використовувати у розрахунках емпіричні залежності опорів коченню та опорів повітря, наведені у наших публікаціях, наприклад [1].

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорожное диагностирование легковых автомобилей. Под ред. Э.Х. Рабиновича. Монография // Рабинович Э.Х., Волков В.П., Белогуров Е.А., Дитячев А.В., Зуев В.А., Зыбцев Ю.В., Буравцев М.Х., Тарасов С.П. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2018. - 279 с.
2. Диваков А. Гудков Н. Яблоки на снегу // Авторевю № 1, 2009
3. The Pneumatic Tire / U.S. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. DOT HS 810 561 2006. 707 с. / [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: http://www.nhtsa.gov/staticfiles/safecar/pdf/PneumaticTire_HS-810-561.pdf
4. Петрушов В.А. Автомобили и автопоезда: Новые технологии исследования сопротивлений качения и воздуха. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2008.-352 с.: ил.

УДК 681.518.5

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТА АЛГОРИТМ ЗБИРАННЯ ВХІДНИХ ДАНИХ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

*Черненко В.В., Грицук І.В., Худяков І.В., Дзигар А.К., Манжелей В. С.
Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Транспортна галузь є однією з базових галузей економіки, має розгалужену залізничну мережу, розвинуту мережу автомобільних шляхів, морські порти та річкові термінали, аеропорти та широку мережу авіаційних сполучень, вантажних митних терміналів, що створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів транспорту у наданні транспортних послуг та розвитку бізнесу.

Так, у Чорноморському та Азовському басейнах і дельті Дунаю працюють 13 морських портів, сукупна потужність вантажообробки яких становить більш як 230 млн. тонн на рік. Територією України простягається 2714,5 кілометра внутрішніх водних шляхів, що належать до категорії судноплавних. Функціонує розвинута мережа паромного сполучення, морських контейнерних ліній, що з'єднують Україну з країнами-партнерами в Чорноморському регіоні.

На сьогодні необхідним є впровадження нових принципів формування та координації державної політики в транспортній галузі, створення умов для забезпечення здійснення контролю за якістю виконання функцій відповідних органів, створення інтегрованого до світової транспортної мережі безпечно функціонуючого та ефективного транспортного комплексу України.

З метою створення ефективно працюючого комплексу України на морському та внутрішньому водному транспорті, треба приділити увагу таким світовим тенденціям:

- використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів, принципів мультимодальності, супутникової навігації, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу;
- інтеграція до європейської системи національного сегмента системи обміну інформацією SafeSeaNet про рух судна та аварійні події;
- інтеграція аеронавігаційної системи України до європейської аеронавігаційної системи;
- ефективне функціонування національної системи з пошуку і рятування на морі;
- узгодження вимог функціонування української річкової інформаційної системи з вимогами стандартів ЄС;
- безпечне функціонування, підтримка у належному технічному стані, проведення своєчасного ремонту гідротехнічних споруд на внутрішньому водному транспорті;
- впровадження новітніх технологій тестування транспортних засобів за екологічними параметрами
- реформування системи державного нагляду (контролю) за безпекою судноплавства маломірних/малих суден;
- створення національного сегмента системи обміну інформацією про рух суден та діяльність суб'єктів господарювання у сфері морського судноплавства;
- інтеграція до європейської інформаційної системи;

- впровадження спільних з ЄС процедур забезпечення безпеки судноплавства, моніторингу руху морських суден, надання допомоги на морі, морського зв'язку, реагування у разі забруднення із суден та створення національного сегмента системи обміну інформацією SafeSeaNet про рух суден та аварійні події;
- розмежування функцій забезпечення безпеки мореплавства, державного нагляду і надання адміністративних послуг службами капітанів морських портів;
- забезпечення розвитку берегової інфраструктури Глобальної морської системи зв'язку у разі лиха та для забезпечення безпеки (ГМЗЛБ);
- удосконалення системи збору, аналізу та використання статистичних даних.

Використання сучасних автоматичних технологій, в специфічних умовах експлуатації засобів річкового і морського транспорту, потребує розробки засобів і методів інформаційного забезпечення, в тому числі для отримання достовірної інформації про технічний стан транспортних засобів, компетентність працівників, корегування режимів праці та відпочинку, а також, контроль за своєчасністю і якістю проведення організаційно-технічних заходів з технічного обслуговування, діагностики та ремонту в швидкозмінних умовах експлуатації.

Дослідження принципів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту визначило такі основні принципи:

принцип узгодженості, суть якого в тому, що всі дії в процесі, що автоматизується повинні бути узгоджені між собою та зі входами і виходами процесу. У разі неузгодженості дій може статися порушення виконання процесу;

принцип інтеграції – процес, що автоматизується повинен мати можливість інтегруватися в загальне середовище;

принцип незалежності виконання – процес, що автоматизується повинен виконуватися самостійно, без участі людини, або з мінімальним контролем з боку людини.

Пошук методів автоматизації отримання інформації по вищезазначеним питанням, потребує розробки алгоритму збирання вхідних даних щодо основних режимів експлуатації транспортних засобів.

Перший, сформулюємо як режим призначення та експлуатації. В рамках цього режиму проаналізуємо наступне:

- наявність технічної документації транспортного засобу в якій надано основні характеристики, інформаційна база та програма з її автоматизації;
- прийом транспортного засобу екіпажем та введення в експлуатацію;
- контроль за технічним станом в процесі експлуатації;
- моніторинг рівня кваліфікації членів екіпажу.

Другий - режим підтримання транспортного засобу у стані вимог до експлуатації. В рамках цього режиму проаналізуємо наступне:

- ведення технічної документації та проведення діагностування технічного стану;
- проведення планових та позапланових заходів з відновлення транспортного засобу;
- моніторинг рівня кваліфікації технічного персоналу (фахівців-ремонтників).
- аналіз даних про виявлені небезпечні несправності;
- аналіз причин та наслідків недотримання вимог до експлуатації.

Третій – режим транспортування. В рамках цього режиму проаналізуємо наступне:

- передача транспортного засобу на ремонтні підприємства з оформленням відповідної документації;
- моніторинг технічного стану транспортного засобу під час ремонту.

Висновки. Реєстрація (моніторинг) параметрів технічного стану енергетичної установки і судна, даних про умови експлуатації, починаючи з моменту початку

експлуатації судна за призначенням (початку руху), при зміні експлуатаційних режимів, а також здійснення постійного контролю компетентності працівників (використання їх в залежності від кваліфікації і досвіду), правильності ведення технічної документації, планування режимів праці і відпочинку, потребують створення єдиного інформаційного середовища та електронної бази даних в умовах експлуатації засобів річкового і морського транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430 – р.
2. Коломієць О. М. Дисертація «Моделі та методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації» Державний університет інфраструктури та технологій, 2020 р.
3. Сівак В. «Метод інформаційного забезпечення експлуатаційної безпеки транспортних засобів на основних режимах технічної експлуатації», збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України, серія: військові та технічні науки № 1(67), 2016 р.

ІМЕННИЙ ПОКАЗЧИК

A

Aloba Leo Tosin, 98

B

Ben A., 30, 36, 48

D

Diahyleva O.S., 30, 36

K

Koretsky O., 43

Kyrychenko K.V., 23

M

MaKarchuk D., 43

Мamenko P.P., 23

Masonkova M., 36

Mateychuk V.M., 23

N

Neumann S., 139

Nosov P.S., 30, 36, 43, 48

P

Ponomaryova V.P., 30, 48

Prokopchuk Y., 48

S

Shemonayev V., 135

Surinov I., 135

Y

Yahlytskyi Y.K., 112

Z

Zinchenko S.M., 23

Б

Бабкін Г.В., 119

Бень А.П., 7

Білай А.В., 145

Блінцов В. С., 62, 121

Бурунін А.П., 83

Буруніна Ж.Ю., 66

Буссов Д.Є., 71

В

Варбанець Р.А., 139

Володарец М.В., 150

Г

Грицук І.В., 145, 150,

154, 158,

Грудініна Г. С., 62

Д

Дзигар А.К., 158

З

Зінченко С.М., 7, 12, 18

Зуєв В.О., 154

К

Кирилаш О.І., 139

Кириллов Є. Д., 60

Кириченко К.В., 12, 18

Кирнац В.І., 139

Клочков О. П., 124

Колебанов О.К., 115

Кучеренко Ю.М., 139

Л

Лебеденко Ю.О., 115

М

Маменко П.П., 12, 18

Манжелей В.С., 150, 158

Матейчук В.М., 12, 18

Мельник В.Г., 127

Мельник І.В., 127

Мінчев Д.С., 139

Н

Надточий А.В., 75

Надточій В.А., 81, 83

Нужний І. С., 104

Нужний С.М., 108

П

Погорлецький Д.С., 145,
154,

Погорлецька Н.В., 145

Р

Рабінович Е.Х., 154

Рижова В.Ю., 150, 154

С

Сабуцький І.П., 88

Сірівчук А. С., 60

Суржиков М.С., 127

Т

Товкач С.С., 56

Товстокорий О.М., 7

Трибулькевич В.В., 92

Тугай С.Б., 127

У

Український Є.О., 145,
150

Х

Худяков І.В., 145, 150,
158

Ч

Черненко В.В., 150, 158

Чернявський В.В., 7

Ш

Швед І.С., 127

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
FOREWORD	5
СЕКЦІЯ:	
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ	6
ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ ОБЕРТАННЯ СУДНА З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	7
В.В. Чернявський, А.П. Бень, О.М. Товстокорий, С.М. Зінченко Херсонська державна морська академія (Україна)	
МІНІМІЗАЦІЯ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ НЕМИНУЧОМУ ЗІТКНЕННІ СУДЕН	12
Зінченко С.М., Кириченко К.В., Маменко П.П., Матейчук В.М. Херсонська держава морська академія (Україна)	
ВРАХУВАННЯ НАЯВНОГО ДЕМФУВАННЯ ТА СПЕКТРУ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ У ЗАДАЧІ АВТОМАТИЧНОГО ШТОРМУВАННЯ	18
Матейчук В.М., Зінченко С.М., Маменко П.П., Кириченко К.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	
THEORETICAL FUNDAMENTALS OF IMPROVING SAFETY NAVIGATION IN THE FIELD OF RISKS	23
P.P. Mamenko, S. M. Zinchenko, K.V. Kyrychenko, V.M. Mateychuk Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	
MODELING OF CONTROL ACTIONS IN THE PROCESSES OF RESTORATION OF QUALIFICATION PARAMETERS OF MARITIME TRANSPORT SPECIALISTS	30
Ponomaryova V.P., Ben A.P., Diahyleva O.S., Nosov P.S. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	
FORMAL APPROACHES FOR IDENTIFICATION STATE-SPACE NAVIGATOR'S MODELS ON GRAPHS	36
Masonkova M., Diahyleva O.S., Ben A.P., Nosov P.S. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	
СЕКЦІЯ:	
ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР НА ТРАНСПОРТІ	42
FORMAL IDENTIFICATION OF THE HUMAN FACTOR INFLUENCE OF THE NAVIGATOR IN MODELS OF RANDOM BRANCHING PROCESSES	43
Koretsky O., Makarchuk D., Nosov P. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	
A COGNITIVE APPROACH TO INTELLIGENT CONTROL THEORY: COMPETENCIES / LEARNING MODULES FOR DISTINCTION TASKS	48
Prokopchuk Y Institute of Technical Mechanics NASU, Ben A., Ponomaryova V., Nosov P. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	

СЕКЦІЯ:

КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТИКА І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ	55
ВЛАСТИВОСТІ ДО ПОБУДОВИ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ АВІАЦІЙНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА	56
Товкач С.С. Національний авіаційний університет, Київ	
КОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ДОПОМІЖНИХ БАЛАСТІВ ВАНТАЖНОГО САМОХІДНОГО ПІДВОДНОГО НОСІЯ	60
Кириллов Є. Д., Сірівчук А. С. к.т.н. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна, м. Миколаїв)	
РЕГУЛЯТОР ШВИДКОСТІ АВТОНОМНОГО НЕНАСЕЛЕНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТУ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ УПРОУ РУШІЙНО-КЕРМОВОГО ПРИСТРОЮ	62
Блінцов В. С., д.т.н, професор, Грудініна Г. С., викладач кафедри ЕІС та РК Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (м. Миколаїв, Україна)	
КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕЗЕКПАЖНИМ МОРСЬКИМ ПРИРОДООХОРОННИМ КОМПЛЕКСОМ	67
Буруніна Ж.Ю. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	
КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМ БЕЗЕКПАЖНИМ ПРИРОДООХОРОННИМ КОМПЛЕКСОМ	71
Буссов Д.Є. Державне підприємство «Дослідно-проектний центр кораблебудування», (Україна)	
ОСОБЛИВОСТІ БЕЗЕКПАЖНОГО НАДВОДНОГО СУДНА ЯК ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	75
Надточій А.В. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)	
ФОРМУЛЮВАННЯ ГОЛОВНИХ ЗАДАЧ СТВОРЕННЯ БЕЗЕКПАЖНИХ НАДВОДНИХ СУДЕН НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ	81
Надточій В.А. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)	
ОГЛЯД БЕЗЕКПАЖНИХ НАДВОДНИХ СУДЕН ЯК ПЕРСПЕКТИВНИХ НОСІЇВ АВТОНОМНИХ НЕНАСЕЛЕНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ	83
Надточій В.А., Бурунін А.П., Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)	
АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ МАЛОРОЗМІРНИМ БЕЗЕКПАЖНИМ СУДНОМ В УМОВАХ ДІЇ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ	88
Сабуцький І.П. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)	

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ РОБОТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИРОДООХОРОННОГО МОНІТОРИНГУ АКВАТОРІЙ	92
Трибулькевич В.В. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, (Україна)	
СЕКЦІЯ:	
БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА	95
СЕКЦІЯ:	
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ	97
MODELING OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR CALIPSO AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE, AS A GROUP AGENT	98
Aloba Leo Tosin (PhD). Department of Marine Electrical Engineering and Robotic Complexes. Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Ukraine. Mykolaiv)	
ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ	
ВОДОЛАЗІВ	104
Нужний І. С. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	
НОВІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ЗАПОБІГАННЯ ВИТОКУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА МЕЖІ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ЗОНИ	108
Нужний С. М. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	
USE OF INFORMATION MODEL OF PROVIDING TECHNOLOGY IN THE INITIAL STAGES OF VESSEL DESIGN	112
Yahlytskyi Y.K. Kherson educational and scientific institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Ukraine)	
Kurychenko K.V. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМ КРАНOM ТИПУ «MACGREGOR»	115
О.К. Колебанов Херсонська державна морська академія (Україна)	
Ю.О. Лебеденко Херсонський національний технічний університет (Україна)	
ПИТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ І СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В УКРАЇНІ	119
Бабкін Г.В. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)	

АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ СТВОРЕННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В ІНТЕРЕСАХ УКРАЇНИ	121
Блінцов В.С. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)	
ВПЛИВ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА УНІФІКАЦІЇ КОМЕРЦІЙНИХ ТЕХНІЧНИХ ТОВАРІВ НА ЗАСАДИ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ У РАМКАХ ПРОЄКТУВАННЯ ТА СТВОРЕННЯ ПІДВОДНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ	125
Клочков О. П. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв, Україна)	
СЕКЦІЯ:	
ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ	127
АНАЛІТИЧНІ СПІВВІДНОШЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СТРУМУ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ В ПАРАХ МЕТАЛІВ В ФІЗИЧНИХ УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ОСАДЖЕННЯ КЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ	128
Мельник І.В., Мельник В.Г., Тугай С.Б., Суржиков М.С., Швед І.С. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра електронних пристроїв та систем (м. Київ, Україна)	
BENEFITS OF USING LIQUID NATURAL GASES (LNG) ON VESSELS DURING SEA VOYAGES	135
I. Surinov, V. Shemonayev National University "Odessa Maritime Academy" (Ukraine)	
ДІАГНОСТИКА ДВОТАКТНИХ ДВИГУНІВ MAN B&W НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ МАНОН (MENORCA) СПІЛЬНО З IMES GMBH	139
Р.А. Варбанець, Ю.М. Кучеренко, Д.С. Мінчев, В.І. Кирнац, О.І. Кирилаш Одеський національний морський університет (Одеса, Україна)	
S. Neumann IMES GmbH, (Kaufbeuren, Germany)	
АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ СХЕМ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ПРАЦЮЮЧИХ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ	145
Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Худяков І.В., Погорлецька Н.В., Херсонська державна морська академія (Україна)	
Український Є.О., Білай А.В. Приазовський державний технічний університет (Україна)	
ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ	150
Худяков І.В., Грицук І.В., Манжелей В.С., Черненко В.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	
Рижова В.Ю. International Technological University «Mykolayiv Polytechnics» (Україна)	

Володарець М.В., Український Є.О.

ПДГУ
(Україна)

**ВПЛИВ АТМОСФЕРНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В ЧАСТИНІ ВІТРОВОГО
НАВАНТАЖЕННЯ НА ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

154

Е.Х. Рабінович, В.О. Зуєв

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(Харків, Україна)

І.В. Грицук, Д.С. Погорлецький

Херсонська державна морська академія
(Україна)

М.В. Володарець, Є.О. Український

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
(Україна)

В.Ю. Рижова

Міжнародний технологічний університет "Миколаївська політехніка", (Миколаїв,
Україна)

**ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТА АЛГОРИТМ ЗБИРАННЯ ВХІДНИХ ДАНИХ
АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВОДНОГО
ТРАНСПОРТУ**

158

Черненко В.В., Грицук І.В., Худяков І.В., Дзигар А.К., Манжелей В. С.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

ІМЕННИЙ ПОКАЗЧИК

161

ЗМІСТ

162

Збірка матеріалів

XIII Міжнародної науково-практичної конференції

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
НА ТРАНСПОРТІ**

MINTT-2022

Відповідальний за випуск *Врублевський Р. Є.*
Технічний редактор *Клементьєва О. Ю.*
Комп'ютерна верстка *Калініченко Т.В.*
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *Удов В. Г.*

Підписано до друку 17.05.2022. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Times New
Roman. Умов. друк. аркушів 11
Тираж 100 прим.

Херсонська державна морська академія
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20