

DOI <https://doi.org/10.15407/csc.2022.01.064>  
УДК 519.688

**О.Є. БОЛКОВ**, кандидат технічних наук, старший дослідник, директор,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Україна,  
alexvolk@ukr.net

**Ю.М. ШЕПЕТУХА**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
в.о. завідуючого відділу, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій  
та систем НАН та МОН України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Україна,  
yshep@meta.ua

**Ю.П. БОГАЧУК**, кандидат технічних наук, старший дослідник, провідний науковий  
співробітник, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Україна,  
bip47@ukr.net

**М.М. КОМАР**, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН  
України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Україна,  
nickkomar08@gmail.com

**Д.О. БОЛОШЕНЮК**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Україна,  
p-h-o-e-n-i-x@ukr.net

## ДОСВІД СТВОРЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДИНАМІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

---

*Викладено результати фундаментальних і прикладних досліджень в галузі інтелектуалізації керування динамічними об'єктами у складному та змінному зовнішньому середовищі. Обговорено питання системної цілісності, головні відмінності між традиційними та інтелектуалізованими засобами керування, проблеми застосування елементів штучного інтелекту в автономних системах, особливості структурування даних на основі образного сприйняття поточної ситуації. Надано відомості щодо розробки та впровадження систем високоточного керування динамічними об'єктами різного типу (морськими суднами, літаками, безпілотними літальними апаратами) за умов конфлікту та суттєвих інформаційних обмежень.*

**Ключові слова:** автономне керування, штучний інтелект, прийняття рішень, образне сприйняття, структурування даних.

### Вступ

У статті зроблено спробу проаналізувати та систематизувати дослідження в галузі побудови систем керування динамічними об'єктами, що протягом декількох десятиліть виконувалися

співробітниками відділу інтелектуального управління (попередня назва — відділ ергатичних систем). Зважаючи на те, що, на жаль, серед нас уже немає низки вчених старшого покоління, що започатковували наукові розробки в галузі керування та могли б краще описа-

ти характерні особливості перших проектів і досягнень, у статті буде детальніше висвітлено теоретичні та практичні результати, отримані впродовж останніх років. Водночас автори намагалися показати взаємозв'язок і спадкоємність головних наукових та науково-технічних здобутків у зазначеній галузі.

**Мета статті** — проаналізувати й систематизувати теоретичні та практичні результати щодо інтелектуалізації систем керування динамічними об'єктами, а також окреслити подальші перспективи досліджень у цій галузі.

### **Дослідження у галузі теорії інваріантності та ергатичних систем подолання конфліктів**

Перші фундаментальні результати діяльності відділу, який започаткував та протягом кількох десятиліть очолював д.т.н., проф. В.В. Павлов, належать до теорії інваріантності та методології її застосування для розв'язання задач керування технічними системами [1]. Пізніше у монографії «Основи теорії ергатичних систем» [2] В.В. Павлов обґрунтував підхід, заснований на об'єднанні теорії автоматичного керування, ергономіки та методів побудови цілеспрямованих систем. Запропонований автором термін «ергатичний» використовувався для характеристики систем, у складі яких людина-оператор реалізує функції керування за активної взаємодії з відповідними технічними засобами. Створена методика побудови ергатичних систем передбачає, що взаємодія користувача з технічними засобами базується на тих самих принципах, що й комунікація між людьми. Хоча до теперішнього часу не знайдено оптимального поєднання різних форм комунікації, теорія ергатичних систем може допомогти сформулювати таку структуру людино-машинного діалогу, яка враховуватиме функціональні можливості і людей, і відповідних технічних засобів. Необхідно також взяти до уваги, що організація ергатичної системи значною мірою визначається сукупністю її короткострокових і довгострокових цілей. Досягнення цільової множини є можливим лише

за умови гарантування потрібного рівня стабільності поведінки системи у складних та непередбачених ситуаціях. Завдяки оптимізації структурних і функціональних рішень у багатьох випадках забезпечується достатня надійність роботи у різних режимах та високий рівень адаптації до змін у зовнішньому середовищі.

Під час подальших досліджень було зроблено висновок, що принципи теорії ергатичних систем можуть знайти застосування для подолання різних видів конфліктів [3]. Також було запропоновано характеризувати ступінь організованості системи її здатністю зберігати свої специфічні структурні та поведінкові властивості у складних конфліктних середовищах та для широкого класу задач. При цьому слід враховувати, що коректно побудована модель функціонування є дієвим засобом відображення властивостей зовнішнього середовища, цілей системи, а також методів формування адекватних принципів аналізу та відбору альтернативних варіантів. Внаслідок узагальнення отриманих результатів сформувалося уявлення про доцільність використання концептуальної бази розв'язання конфліктів для створення нових методів синтезу систем керування динамічними об'єктами [4].

Слід також відзначити роботи щодо створення теоретичних засад повного використання нелінійного технологічного ресурсу системи для забезпечення цілісного управління в умовах конфлікту. У згаданому напрямі було отримано низку значних наукових результатів, зокрема, запропоновано підхід до розв'язання проблем нелінійної інваріантності на базі методу примусового роз'єднання систем диференціальних рівнянь. При цьому умови інваріантності було отримано в такому вигляді, який дає змогу визначити і оптимальний спосіб роз'єднання заданої системи диференціальних рівнянь, і необхідну розмірність кожної виокремленої підсистеми. Це має особливе значення для дослідження багатовимірних систем керування, для яких може існувати кілька альтернативних варіантів роз'єднання канонічної системи диференціальних рівнянь. Крім того, ви-

значення у явному вигляді граничної системи рівнянь, що описує закони зміни інваріантних координат, дало можливість проаналізувати взаємозв'язок між властивостями динамічних систем і шляхами їхньої технічної реалізації. Подібний аналіз враховує прогнозовані відхилення фазових траєкторій динамічної системи, зумовлені неточністю розрахунку основних параметрів керування.

### **Дослідження в галузі цілісного управління та мережецентричних систем**

Для забезпечення цілісного управління В.В. Павлов дослідив такі підходи до розв'язання проблеми інваріантності, як: багатоканальна компенсація, компенсація з безпосереднім виміром величини збурення, а також компенсація із заданою величиною коефіцієнта посилення. При цьому розглядалися не лише системи, що базуються на використанні принципу відхилення, а й комбіновані системи. Усе зазначене дало можливість виробити єдину методологію, яку можна використовувати для досягнення інваріантності, забезпечуючи також необхідні показники якості та керованості синтезованої нелінійної системи. У процесі розробки теорії нелінійної інваріантності було зроблено висновок, що будь-яка конкретна технічна реалізація цілісної системи керування має ґрунтуватися не лише на процедурі відсіву неприйнятних альтернатив, а й на методології формування ефективних стратегій. Відповідна узагальнена модель функціонування у змінному зовнішньому середовищі визначається на підставі врахування наступних факторів: основні характеристики середовища, набір короткотермінових і довготермінових цілей системи, а також обрана методологія відбору доцільних варіантів розв'язання задачі. Було зроблено висновок, що на базі такої узагальненої моделі можуть бути реалізовані ідеї цілісного управління, тобто керування нелінійним об'єктом за повного використання технологічного ресурсу системи [5].

Принципи цілісного управління знайшли практичне використання при розробці інформаційної технології розв'язання задачі навігаційного конфлікту у складних умовах та критичних режимах функціонування [6]. У цьому разі системна цілісність ґрунтувалася, по-перше, на забезпеченні інтегрування окремих критеріїв небезпеки поточної ситуації, та, по-друге, на визначенні загальної стратегії попередження зіткнень з усіма суднами, що конфліктують між собою. Базовим режимом роботи створеної інформаційної технології був режим цілісного забезпечення навігаційної безпеки за умов інтенсивного судноплавства. Слід наголосити, що розроблені алгоритми давали змогу здійснювати паралельну обробку всієї наявної інформації — і щодо індивідуальних суден, і щодо їхніх груп, сформованих у відповідності з певними критеріями. Також необхідно зазначити наявність вбудованого симулятора, що імітував основні режими роботи та різні сценарії розвитку поточної навігаційної ситуації. Практика довела, що цей симулятор виявився ефективним засобом навчання судноводіїв — і якщо його використовували у складі стаціонарних тренажерних комплексів, і при застосуванні симулятора безпосередньо на борту судна.

Серед виконаних досліджень необхідно також зазначити розроблення моделей мережецентричного керування динамічними процесами в глобальних комп'ютерно-комунікаційних мережах на базі використання жорстких підпорогових керуючих циклів у реальному масштабі часу. Концептуальною основою робіт у цьому напрямі була теза, що одним із ефективних підходів до аналізу складних конфліктів між різними динамічними системами є розроблення моделей мережецентричного керування в розподілених комп'ютерно-комунікаційних середовищах. При цьому головним завданням моделювання є аналіз впливу на механізми мережецентричного керування й альтернативних варіантів підключення різних типів підсистем, й методології розв'язання задач, які виникають у нештатних ситуаціях. Під час робіт у цьому напрямі у відділі було розроблено методику

організації управління передачею інформації у складних комп'ютерно-комунікаційних мережах, а також запропоновано ефективні способи зменшення похибок і підвищення контролю якості обміну даними. На підставі виконаних досліджень було отримано патент на винахід [7], що став переможцем Всеукраїнського конкурсу «Винахід року – 2008» (рис. 1).

Також було виконано дослідження комунікативної взаємодії людини та системи мережентричного керування в умовах реального часу, що дає змогу формувати рішення за припустимий інтервал часу навіть у найскладніших ситуаціях. Необхідно також взяти до уваги, що створення засобів керування потребує інтеграції у цілісну систему розподілених фрагментів інформації, отриманої в результаті обробки великої кількості джерел даних. Складність інтеграційних процедур вимагає ґрунтовного вивчення і процесів розподілення в часі та просторі інформаційних ресурсів, що адекватно відображають суттєві риси проблеми, і процесів поєднання цих ресурсів у цілісну систему. Для подальшого просування у цьому напрямі необхідно дослідити шляхи інтелектуалізації поведінки у складному конфліктному середовищі реального часу із просторово-розподіленими взаємопов'язаними інформаційними та функціональними компонентами.

### **Проблеми застосування штучного інтелекту для інтелектуалізації систем керування динамічними об'єктами**

Важливим напрямом подальших досліджень відділу було розроблення методології побудови інтелектуалізованих систем високоточного автономного керування складними динамічними об'єктами. Інтелектуалізація функціональної поведінки системи у складному та змінному середовищі зумовлена її здатністю виконувати певний набір інтелектуальних завдань — таких як, наприклад, аналіз ситуації, планування дій, ухвалення рішень тощо. Принципи управління системою при виконанні інтелектуальних завдань мають відрізнитися від прин-

ципів, що застосовуються для виконання завдань більш стандартного типу. Тому нині можна помітити тенденцію доповнення автоматичних систем, що діють у відповідності із заздалегідь заданими алгоритмами та процедурами, такими системами, які здатні у процесі своєї роботи здійснювати певний набір інтелектуальних функцій. Дослідження та систематизація наявних джерел дає змогу зробити висновок щодо існування низки відмінностей між традиційними та інтелектуалізованими системами. Так, процеси інтелектуального управління характеризуються підвищеною складністю та, як правило, мають більшу кількість етапів. Тобто вони можуть включати такі етапи, як: аналіз ситуації, визначення необхідності в додатковій інформації, отримання цієї інформації, планування альтернативних варіантів дій, прийняття рішення щодо вибору найдоцільнішого варіанту, коригування дій під час їх виконання, аналіз отриманих результатів. Слід також зазначити, що системи інтелектуального управління мають ефективно діяти за умов дефіциту часу, невизначеності та наявності складних обмежень.

інтелектуалізовані системи здатні імітувати виконання людиною таких завдань, які прийнято називати інтелектуальними. До них слід віднести, зокрема, образне сприйняття окремих компонентів поточної ситуації або ситуації загалом; усвідомлення причин виникнення тієї чи іншої ситуації; генерування стратегій поведінки в тих або інших ситуаціях; попереднє планування шляхів реагування на можливі наслідки. Ще однією важливою рисою систем інтелектуального управління є їхня спроможність виконувати автономні дії для досягнення поставлених цілей. У перспективі ці системи можуть мати здатність навіть до автономного формулювання цілей та успішних дій у багатьох предметних галузях. Але станом на теперішній час найдоцільнішим шляхом інтелектуалізації є побудова автономних систем, профільованих для роботи у порівняно вузьких предметних областях. Однією з суттєвих переваг спрямованості таких систем на розв'язання спеціалізованих завдань є можливість забезпе-





Рис. 1. Диплом переможця Всеукраїнського конкурсу «Винахід року – 2008»



Рис. 2. Програмно-технічний комплекс для дослідження процесів керування динамічними об'єктами

чення їхньої якісної адаптації і до змін у зовнішньому середовищі, і до змін у структурній організації та значеннях кількісних параметрів самої системи.

Слід зазначити, що теоретичні основи створення інтелектуальних інформаційних систем та систем інтелектуального управління ще перебувають у стадії формування. Зокрема, актуальним питанням є побудова інтелектуальної платформи для розробки автономних систем керування складними динамічними об'єктами у змінному середовищі за умов невизначеності та комунікаційних обмежень. Важливість розробки автономних систем зумовлена тим, що наслідки впливу людського чинника на різні етапи процесу керування залежать від низки факторів — таких, як складність поточної си-

туації та проміжок часу, за який необхідно прийняти рішення стосовно найдоцільнішого способу дій. У звичайних обставинах підготовлена людина може належно проаналізувати структуру ситуації, а також встигнути врахувати можливі зміни в характеристиках середовища. Але за суттєвого зростання складності ситуацій та звуженні часових рамок, за які їх необхідно проаналізувати, навіть навчена людина може мати великі проблеми щодо якості такого аналізу. Саме для подолання цих проблем необхідно створити нові підходи до побудови програмно-технічних комплексів управління, що базуються на використанні елементів штучного інтелекту. Це дасть змогу автоматизувати найважливіші етапи процесу аналізу ситуації та усунути можливі негативні наслід-

ки людського чинника. Безпосереднє здійснення процесу керування відбувається на основі механізмів формування та використання знань про характерні особливості конфліктної ситуації. При цьому складний характер взаємозв'язків між компонентами зумовлює практичну неможливість побудови глобальних моделей, що мають адекватно відображати динаміку таких взаємозв'язків. Тому необхідним є доповнення формального математичного опису динамічних процесів елементами штучного інтелекту, які інтегрують експліцитні й імпліцитні знання у цій предметній галузі.

Особливо багатообіцяючим напрямом є створення автономних систем з елементами мультипрофільного штучного інтелекту, що базується на комбінуванні знань із різних предметних галузей. Це зумовлено тим, що найобґрунтованішим підходом до побудови системи, що має ефективно діяти у складному та змінному зовнішньому середовищі, є поступове нарощування її функціональних можливостей завдяки включенню елементів штучного інтелекту з різних, але дотичних предметних галузей. У згаданому напрямі слід відзначити розроблений у відділі програмно-технічний комплекс для дослідження процесів керування динамічними об'єктами при виконанні різних типів завдань (рис. 2). Зазначені типи завдань можуть включати, наприклад, автономну навігацію за відсутності супутникової системи, попередження зіткнень, мережецентричне керування діями у конфліктних ситуаціях тощо.

Одним із найперспективніших напрямів розвитку теоретичних засад штучного інтелекту є також змістовний аналіз даних та видобування на цій основі інформації та знань. Причиною є те, що безперервне розширення доступності даних у сучасних великомасштабних, складних та з'єднаних у мережу системах створюють можливості для побудови інтелектуальних комплексів з ефективним використанням великих обсягів необроблених даних. Такий підхід дає змогу підвищити якісний рівень інформаційних технологій і створює умови для переходу від систем з вузько профільованим інтелектом до інтелектуальних систем

загальнішого типу. Особливо доцільним є застосування штучного інтелекту в разі дефіциту часу та наявності великої кількості альтернативних варіантів дій. Важливим етапом досліджень у зазначеному напрямі є перетворення загальних принципів інтелектуалізації інформаційних технологій у конкретні моделі та алгоритми, що базуються на використанні елементів штучного інтелекту та дозволяють здійснювати інформаційну підтримку цілеспрямованих дій.

Таким чином, аналіз сучасного стану проблеми дає змогу виокремити такі найперспективніші напрями інтелектуалізації:

- створення концептуальних засад штучного інтелекту та механізмів його використання для розв'язання конкретних задач;
- змістовний аналіз даних та видобування знань;
- розробка методів та засобів побудови автономних систем керування;
- дослідження особливостей процесів прийняття та реалізації рішень у системах з елементами штучного інтелекту;
- створення автономних транспортних засобів, що здатні ефективно реагувати на зміни поточної ситуації за відсутності безпосереднього втручання людини;
- використання елементів штучного інтелекту для підвищення рівня інтелектуалізації сучасних безпілотних літальних апаратів, зокрема, автономне динамічне планування тривимірних траєкторій у складному зовнішньому середовищі;
- застосування елементів штучного інтелекту для інтеграції та змістовного аналізу даних від сенсорних мереж, зокрема, для розв'язання задач розпізнавання, ідентифікації, категоризації сцен, локалізації та картографування.

### **Структурування даних на основі образного сприйняття особливостей поточної ситуації**

Критичними факторами ефективності систем автономного керування складними об'єктами та процесами є, по-перше, наявність необхід-



ного обсягу достовірних даних та, по-друге, їх належне оброблення з метою усвідомлення суттєвих рис поточної ситуації. Потреба в даних зумовлює важливість оснащення систем сучасними сенсорами та сенсорними мережами, що забезпечують отримання даних і про зовнішнє середовище, і про стан внутрішніх ресурсів. Але самих по собі необроблених даних недостатньо для інформаційного забезпечення ефективного функціонування системи. Процес обробки є необхідним для усвідомлення змісту та структурування різноманітних даних із великої кількості джерел. Внаслідок цього процесу здійснюється формування потрібних компонентів інформації та знань, а також виконується інтеграція цих компонентів із метою змістовної інтерпретації отриманих знань та цілеспрямованого використання їх для керування складними динамічними об'єктами та процесами. Ефективним засобом вказаної змістовної інтерпретації є перетворення суттєвих компонентів поточної ситуації в цілісні образи, що відображають інформацію щодо характеристик цих компонентів та їхніх найважливіших взаємозв'язків. Таке образне представлення може відігравати головну роль у подоланні проблем керування у складних умовах, коли без використання образів важко усвідомити вплив різних, часто слабо формалізованих і змінних аспектів задачі, на показники якості, швидкодії та стійкості [8].

Механізми формування образів визначать структуру процесів осмислення поточної ситуації та особливості усвідомлення її найхарактерніших рис та взаємозв'язків. У багатьох випадках саме образне подання істотних взаємозв'язків є ефективним засобом інтелектуалізації процедур обробки інформації. Слід зазначити, що образне відображення може застосовуватися на різних етапах процесу мислення — для знаходження невідповідності між компонентами отриманої інформації, для здійснення генерації альтернативних варіантів, для підтримки процесу вибору найприйнятнішої альтернативи, для апріорного чи апостеріорного аналізу результатів впровадження обраної альтернативи, для планування

необхідних коригувальних дій. При застосуванні образів у будь-якій предметній галузі необхідно врахувати зазначену в [9] тезу, що інтелектуальні можливості будь-якого суб'єкта найкраще характеризуються його здатністю знаходити потрібний результат. Тому для задач керування складними динамічними об'єктами та процесами особливо цікавими для дослідження є випадки, коли розробка методів формування образів та моделей оперування ними є необхідною передумовою для створення концептуальних основ високоточного інтелектуального керування. Образне подання інформації підтримує процеси образного мислення та дозволяє надати системі керування такі інтелектуальні риси:

- здатність усвідомлювати та структурувати приховані взаємозв'язки складних об'єктів і динамічних середовищ;
- можливість прогнозування та планування на основі інтеграції різномірних даних із низки предметних галузей;
- спроможність ефективно діяти у швидкоплинних ситуаціях, коли образи можуть використовуватися для оперативного внесення коректив у попередні плани;
- можливість використання образів для виявлення порушень стабільності функціональної поведінки системи, спричинених і змінами у зовнішньому середовищі, і відмовами системи керування.

## **Прийняття рішень у системах із елементами штучного інтелекту**

Аналіз сучасного стану проблеми свідчить про те, що основним завданням комп'ютеризованих інтерактивних систем є моделювання різних типів інтелектуальних проблем у неструктурованих або не до кінця структурованих предметних областях, а також підтримка діяльності людини у напрямі їхнього осмислення та подолання. Проектування цих систем має відповідати вимогам інтеграції сучасних інформаційних технологій та когнітивних, психофізіологічних і соціальних аспектів інтелектуальної поведінки. Завдяки такій інтегра-



ції забезпечується сприяння успішному розв'язанню людиною інтелектуальних завдань — або завдяки швидкому прийняттю стандартних рішень, або завдяки використанню діалогових людино-машинних процедур для генерації складних нестандартних рішень. При формуванні нестандартних рішень людина повинна мати внутрішній образ проблеми, що дозволяє усвідомити її найхарактерніші риси та взаємозв'язки. Крім того, потрібне створення такої структури, яка на підставі поєднання у єдине ціле об'єктивних даних і суб'єктивних суджень людини, забезпечить розуміння поставлених проблем і підтримку прийняття ефективних рішень.

Для побудови систем з елементами штучного інтелекту необхідно зрозуміти відмінності між традиційними процесами аналізу рішень і методами автоматизації прийняття рішень у системах штучного інтелекту. Тільки на основі усвідомлення того, як такі системи формують, оцінюють та узгоджують альтернативні варіанти, можна створити ефективні технології прийняття рішень у системах штучного інтелекту [10]. Крім того, системи з елементами штучного інтелекту в процесі своєї цілеспрямованої діяльності повинні мати здатність не лише ефективно адаптуватися до певних подій, а й активно впливати на посталу ситуацію, тобто сприяти створенню інтелектуального середовища. Слід зазначити, що до цього часу не вирішеними є багато питань стосовно технології прийняття рішень у системах штучного інтелекту, підходів до концептуалізації таких рішень, а також процесів сприйняття їхніх результатів.

Під час розробки процедур змістовного аналізу даних й усвідомлення поточної ситуації необхідно врахувати факт наявності двох взаємопов'язаних, але різних видів знань. Перший із них (такі знання називають явними, експліцитними або жорсткими) включає формалізовані та структуровані методи й алгоритми дій у певних типах ситуацій. Інший вид знань базується на досвіді, вміннях і навичках, що не є достатньо структурованими та не мають формального оформлення. Такі знан-

ня звичайно називають неявними, імпліцитними або м'якими. При створенні засобів інтелектуального управління доцільним є поєднання аналітичних, логіко-динамічних, вербальних і структурних когнітивних моделей, а також використання експліцитних та імпліцитних елементів розширеної бази знань. Варто також зазначити, що використання образного подання інформації у багатьох випадках дає змогу зробити ефективнішими окремі стадії процесу прийняття рішень — завдяки сприянню усвідомленню прихованих рис складно структурованої інформації. Слід особливо наголосити на можливості використання образного подання для знаходження невідповідності в потоках різномірних даних і визначення інформаційних складових, які суперечать одна одній. Виявлені конфліктні інформаційні елементи можуть відображатися кольоровими позначками чи іншими засобами комп'ютерної графіки, полегшуючи розуміння прихованих суттєвих особливостей поточної ситуації.

### **Створення та впровадження систем керування динамічними об'єктами**

Використовуючи зазначені концептуальні підходи було розроблено технологію розв'язання низки завдань управління інтелектуальною поведінкою складних систем в умовах невизначеності та конфлікту. У цьому напрямі було побудовано узагальнені алгоритми управління та запобігання зіткненням морських суден у ситуаціях виражених конфліктів підвищеної складності та за умов дефіциту часу для прийняття рішень. На основі створеної технології було розроблено та впроваджено систему керування морськими суднами у складних навігаційних умовах та критичних режимах функціонування (рис. 3). Крім того, на базі дослідження обміну інформацією в комунікаційних мережах типу «судно — судно», «судно — берегова система», «група суден — берегова система», було створено методологію та процедури формування, інтерпретації та інтеграції

зовнішніх та внутрішніх образів конфліктних ситуацій. Ці образи, що можуть використовувати різноманітні дані з багатьох розподілених джерел, дають змогу підтримувати дії судноводіїв щодо керування рухом морських суден різної водотоннажності та з різноманітними маневровими та інерційними характеристиками (танкери, вантажні судна, пасажирські судна, швидкісні судна на повітряній подушці тощо).

Підхід, заснований на взаємоузгодженому використанні методів штучного інтелекту, прийняття рішень та інтелектуального управління, було також використано при створенні автономних систем керування різними типами динамічних об'єктів. Одними з таких об'єктів, які знайшли широке застосування в останні роки, є безпілотні літальні апарати. Передумовою для розроблення автономних систем керування стало оснащення сучасних безпілотних літальних апаратів високоякісними сенсорами та потужними бортовими засобами обробки інформації. На основі зазначеного підходу було створено вбудовані у безпілотний літальний апарат системи автономного керування при виконанні різних типів польотних завдань з урахуванням фізичних, нормативних і ситуаційних обмежень (рис. 4). Зокрема, було розроблено алгоритми адаптивного керування орієнтацією безпілотного літального апарату, що компенсують перехресні зв'язки та взаємний вплив між каналами керування. Завдяки цьому забезпечується інваріантність генерованих команд керування, навіть у разі глибокого маневрування безпілотного літального апарату. Розроблені алгоритми також дають змогу досягти підвищення якості та стійкості керування при реалізації складних просторових траєкторій польоту з великими змінами висоти та швидкості за наявності істотно криволінійних ділянок маневрування у вертикальній і горизонтальній площинах [11, 12].

Отже, створена бортова інтелектуалізована система керування безпілотним літальним апаратом дає змогу успішно виконувати такі основні завдання:

- стабілізацію кутового положення та втримування заданих параметрів висоти та швид-

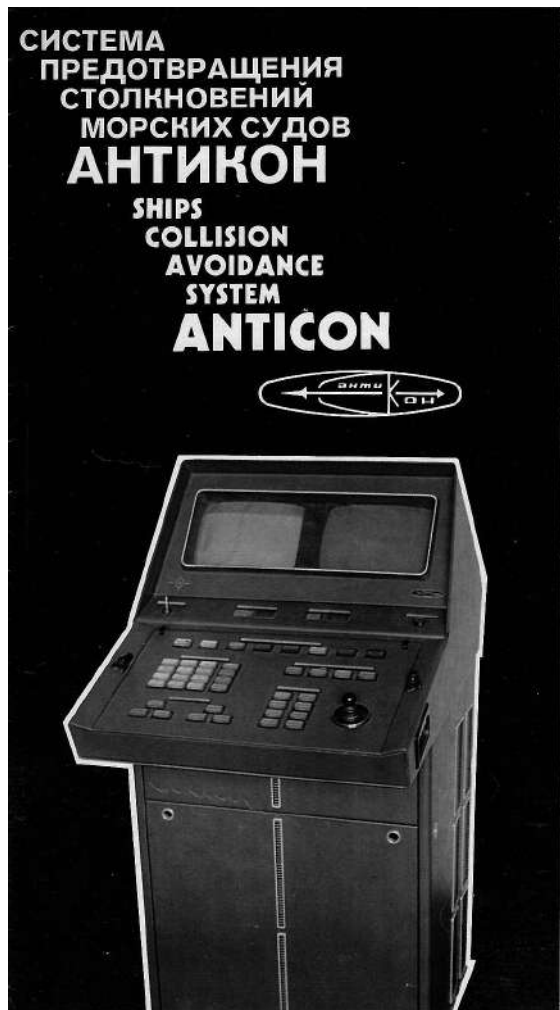


Рис. 3. Система попередження зіткнень морських суден «Антикон»

кості польоту, а також оптимальне відпрацювання змін цих параметрів;

- компенсацію впливу зовнішніх факторів на стабілізацію безпілотного літального апарату;
- автоматичне виконання заздалегідь заданої траєкторії польоту з різними видами маневрів;
- мінімізацію можливих відхилень від заданого маршруту після виконання траєкторних маневрів;
- відпрацювання алгоритмів автоматичного злету та автоматичної посадки безпілотного літального апарату.



Рис. 4. Зразок безпілотного літального апарату з вбудованою системою автономного керування

Впровадження системи підтвердило, що розроблена інтелектуалізована система автономного керування створює важливі передумови для значного розширення можливостей використання безпілотних літальних апаратів у різних сферах діяльності. Необхідно зазначити, що постійне підвищення інтенсивності повітряного руху породжує низку проблем, без розгляду яких сталий розвиток авіації є неможливим. Однією із таких проблем, вирішення якої стає критичним фактором і для пілотованих, і для безпілотних літальних апаратів, є попередження зіткнень [13]. Характерною особливістю процесу виявлення небезпеки зіткнення та її попередження для безпілотних літальних апаратів є широке використання бортових відеокамер. Важливою перевагою бортових камер є менше споживання енергії в

порівнянні з радаром, лазерними сканерами та іншими активними сенсорами. Також камери мають малу вагу і їх можна легко розмістити на невеликих безпілотних літальних апаратах. Спеціалізовані алгоритми обробки зображень від цих камер дають змогу отримати інформацію, необхідну для керування безпечним рухом за заданим маршрутом [14, 15].

### **Аналіз шляхів забезпечення автономної інтелектуальної поведінки**

Питання аналізу шляхів побудови ефективних систем керування динамічними об'єктами призвело дослідників до необхідності ґрунтовного вивчення методів забезпечення автономної інтелектуальної поведінки. Як уже зазна-

чалосся, саме здатність до автономного функціонування відрізняє системи керування з елементами штучного інтелекту від інтерактивних систем, що базуються на використанні комп'ютерно-комунікаційних технологій. В інтерактивних системах основним завданням комп'ютерно-комунікаційних технологій є обробка інформації з метою сприяння людині у подоланні певних видів проблем. Тобто комп'ютеризовані технічні засоби виконують функції інформаційного забезпечення діяльності, а аналіз ситуації та прийняття остаточних рішень покладено виключно на людину. У системах з елементами штучного інтелекту можливості комп'ютерно-комунікаційних технологій спрямовано безпосередньо на вирішення інтелектуальних задач чи їхніх найважливіших фрагментів. Проміжне положення між інтерактивними й автономними системами займають системи, здатні виробляти рекомендації щодо найдоцільніших у певних обставинах варіантів дій. Але людина, яка працює у так званому «супервізорному» режимі, може заблокувати впровадження вироблених рекомендацій. Слід підкреслити, що методи структурування та обробки даних у трьох наведених видах систем можуть суттєво різнитися. Однак кінцевою метою обробки даних у всіх випадках є вирішення інтелектуальних завдань — тобто таких завдань, які будуть віднесені стороннім спостерігачем до класу інтелектуальних.

Таким чином, однією з предметних галузей, де застосування інтелектуальних інформаційних технологій дало можливість отримати важливі теоретичні та практичні результати, є побудова систем керування різними видами рухомих об'єктів — морськими суднами, пілотованими та безпілотними літальними апаратами. Зазначмо декілька принципових аспектів, що визначають характеристики рухомих об'єктів та зумовлюють особливості процесу керування ними. Насамперед, рухомі об'єкти характеризуються складною динамікою зі значною кількістю компонентів і наявністю складних перехресних зв'язків між ними. Зокрема, рівняння, що описують рух такого динамічного об'єкту, як літальний апарат, у загальному ви-

падку є нелінійними, нестационарними та багатовимірними [16]. Конкретний вид рівняння для обраної системи координат залежить від низки факторів — конструктивних параметрів літального апарату, характеристик зовнішнього середовища, методики врахування впливу зовнішніх і внутрішніх сил. Також необхідно враховувати прийняті спрощення та потрібний рівень деталізації процесів.

Інтелектуалізація керування рухомими об'єктами ґрунтується на врахуванні невизначеності та слабкої структурованості, що є дуже складним завданням. Складність розв'язання цього завдання зумовлена низкою чинників. Насамперед, цілі керування можуть бути суперечливими та сформульованими недостатньо чітко. Крім того, в процесі пошуку рішення можуть змінюватися значення суттєвих параметрів і самого рухомого об'єкту, і системи керування. Зовнішнє середовище також може змінюватися і під впливом випадкових факторів, і внаслідок виникнення конфліктних ситуацій. До того ж може мати місце спотворення чи втрата вхідної інформації в каналах передавання даних. Для досягнення рівня інтелектуалізації, необхідного для забезпечення належної якості процесу керування, потрібна узгоджена взаємодія між окремими компонентами системи. Для ергатичних систем узгоджена взаємодія зумовлюється функціональною сумісністю між людиною та відповідними технічними засобами. У цьому разі функцією технічних засобів є інформаційна підтримка цілеспрямованої діяльності людини. Водночас, взаємодія окремих компонентів системи з елементами штучного інтелекту спрямована на отримання здатності до автономного виконання завдань у динамічних середовищах і складних ситуаціях. Швидке реагування на непередбачувані обставини дає змогу уникнути випадків, коли велика напруженість роботи операторів може призвести до грубих помилок і суттєвого погіршення ефективності функціонування системи.

Інтелектуалізація системи керування — й ергатичної, й автономної — спрямована на забезпечення виконання ефективних дій завдя-



ки усвідомленню характерних особливостей зовнішнього середовища з урахуванням наявного набору стандартних процедур, правил і/або обмежень. На основі інтелектуалізації з'являється можливість розв'язання низки задач, що, серед інших, включають:

- сприйняття та змістовний аналіз наявних даних, зокрема, виявлення та ідентифікація різних типів об'єктів;
- вироблення та впровадження раціональних процедур взаємодії технічних засобів з людиною (оператором, диспетчером тощо);
- формування підходів до дослідження процесів організації групової поведінки (моделювання дій рою та ін.);
- траєкторне керування та автономна навігація, включаючи уникнення зіткнень із рухомими та нерухомими перешкодами.

Концептуальною основою побудови систем інтелектуального управління є інтеграція експертних знань у певній предметній галузі з інформацією, отриманою внаслідок обробки наявних даних. Тому створення інтелектуалізованих систем керування рухом динамічних об'єктів, особливо в автономному варіанті, є предметною галуззю, де елементи штучного інтелекту можуть знайти широке застосування. Бортові системи автономного керування спрямовані на виконання двох основних типів завдань. По-перше, вони повинні мати здатність до планування траєкторії виходу у задану цільову область. По-друге, сформована маршрутна траєкторія має вчасно коригуватися залежно від умов поточної ситуації. Для забезпечення цього було розроблено ситуаційно-прогнозні алгоритми, що, в залежності від характеристик поточної ситуації та прогнозу поведінки інших динамічних об'єктів, формують такі альтернативні варіанти дій: збереження попередніх параметрів руху, визначення необхідності маневрування, оцінювання доцільності застосування різних видів маневрів, обчислення параметрів маневрування, визначення умов повернення до основної маршрутної траєкторії. Зазначені особливості задач керування рухом динамічних об'єктів зумовлюють специфіку структурування суттєвих інформа-

ційних компонентів поточної ситуації та визначають особливості їх образного представлення.

### **Забезпечення сталого керування за умов суттєвих інформаційних обмежень**

Крім створення систем керування безпілотними авіаційними засобами, в останні роки значний інтерес дослідників викликали питання забезпечення їх сталого функціонування за умов суттєвих інформаційних обмежень. У багатьох роботах наголошувалося на необхідності високоточної навігації безпілотних літальних апаратів навіть у разі переривання зв'язку із супутниковою навігаційною системою. Це свідчить про неможливість використання супутникової системи як єдиного засобу навігації і зумовлює доцільність застосування автономних навігаційних пристроїв. Метою розробки таких пристроїв є високоточне витримання маршрутної траєкторії на всіх етапах виконання польоту — навіть за відсутності сигналу від глобальних навігаційних супутникових систем. На основі цього можливим також є створення спеціалізованих симуляторів з відтворенням реальних характеристик рухомих об'єктів та різноманітних сценаріїв розвитку поточної ситуації.

Принципи змістовного аналізу даних і образного мислення можуть бути застосовані не лише для інтелектуалізації процесів керування, а й для виявлення та ідентифікації різних типів об'єктів. Першим етапом розв'язання такої задачі є отримання на вході системи своєчасних, достовірних, повних та надійних даних щодо поточного стану зовнішнього середовища. Джерелом таких даних є спеціальні сенсорні пристрої, робота яких може ґрунтуватися на різних фізичних принципах. Зокрема, акустичні сенсори використовують набір давачів, які приймають акустичний сигнал від об'єкта, що перебуває в певній контрольованій зоні простору, та перетворюють отриманий акустичний сигнал на електричний. На основі акустичних сенсорів можуть бути побудова-



Рис. 5. Грамота переможця Всеукраїнського конкурсу «Винахід року – 2020»

ні засоби акустичної пеленгації, які мають перспективи застосування в різних предметних галузях. Принцип дії акустичної пеленгації ґрунтується на тому, що властивості будь-якого середовища впливають на параметри акустичного сигналу, що поширюється у цьому середовищі. Зазвичай акустичні сенсори використовують декілька рознесених у просторі давачів із заздалегідь визначеним взаємним розташуванням. Обробка вихідних даних акустичних сенсорів дає можливість засвідчити факт виявлення об'єкта в контрольованій області та обчислити його координати. Крім того, на основі обчислення частотного спектра виявленого об'єкта та його порівняння з типовими частотними спектрами, часто можна також визначити клас об'єкта. Акустичні сенсори мають низку важливих позитивних рис. До переваг насамперед варто зарахувати відсутність актив-

ного випромінювання, здатного демаскувати місцезнаходження акустичних сенсорів. Крім того, такі сенсори мають невелику вартість, можуть ефективно використовуватися за умов обмеженої видимості та при складному рельєфі місцевості. Перспективність досліджень у галузі акустичної пеленгації підтверджується появою в останні роки низки міжнародних патентів на обробку сигналів, що отримуються акустичними сенсорами.

Комбінування різних видів сенсорів є одним із ефективних засобів забезпечення систем керування надійною та достовірною інформацією. Поряд із одночасним застосуванням різних типів сенсорів одного класу (акустичних, оптичних тощо), можливим є також їх доповнення сенсорами іншого класу. Перспективним напрямом побудови таких комбінованих сенсорних пристроїв є поєднання у скла-

ді єдиного автономного комплексу і засобів відеоспостереження за допомогою оптичних камер, і акустичних сенсорів. Аналіз отриманих за допомогою цих пристроїв даних дає змогу реалізовувати наступні інтелектуальні функції: розпізнавання об'єктів за допомогою методів комп'ютерного бачення; розпізнавання об'єктів за акустичними сигнатурами; адаптація до змін зовнішніх умов, параметрів та структури системи керування. У цьому напрямі досліджень було розроблено та запатентовано систему оптико-акустичної пеленгації, що забезпечує сталість захисту контрольованого повітряного простору [17]. Особливістю розробленої системи є використання взаємоузгодженого розподіленого акустичного та оптичного стеження за потенційно небезпечним об'єктом, що підвищує надійність його виявлення, пеленгації, ідентифікації та класифікації. Також у системі застосовано мережецентричне керування мобільною базою триангуляції, що не лише покращує віртуальну чутливість акустичних вимірювань розробленої системи, а й забезпечує рівномірну точність отримання даних, обчислення координат та параметрів руху об'єктів. Зазначена розробка стала переможцем Всеукраїнського конкурсу «Винахід року – 2020» (рис. 5).

Інтелектуалізація сенсорних мереж дає змогу перейти до розв'язання задачі визначення характерних ознак зображень об'єктів з метою їхнього зіставлення та подальшої ідентифікації. Слід зазначити, що зіставлення зображень є обов'язковим етапом розв'язання багатьох інтелектуальних задач, пов'язаних із розпізнаванням об'єктів — таких, наприклад, як дослідження сцен; побудова тривимірних образів на основі узагальнення великої кількості двовимірних зображень; обчислення місцезнаходження, оцінка орієнтації, відстеження та визначення параметрів руху об'єктів. При цьому використовуються такі види ознак, як точки, лінії та контури, а також різні варіанти їхнього поєднання. Завдяки формуванню та занесенню до бази даних характерних ознак зображень об'єктів забезпечується інформаційна підтримка функціонування систем ви-

сокоточного керування транспортними засобами в автономному режимі. Важливою складовою побудови автономних систем керування є здійснення одночасної локалізації та картографування на підставі змістовної обробки візуальних даних. Це передбачає одночасне розв'язання двох завдань — встановлення місцезнаходження у зовнішньому середовищі, а також формування картографічного образу місцевості. На цей час проблема одночасної локалізації та картографування зазвичай долається для випадків, коли наявні давачі дальності застосовуються для побудови двовимірних карт у статичному середовищі невеликих розмірів. Але ця проблема в загальному виді є не вирішеною для більшості динамічних і складних середовищ. Під час досліджень у цьому напрямі було створено алгоритми та прикладні програми для одночасного розв'язання задач локалізації та картографування із застосуванням літального апарату та бортової оптичної камери, а також отримано патент на винахід [18].

### **Заклучна частина: напрями майбутніх досліджень**

На завершення стисло схарактеризуємо головні напрями майбутніх досліджень відділу інтелектуального управління. У відповідності із розробленою стратегією діяльності відділу, довгостроковим напрямом наукових розробок є створення та впровадження принципово нових підходів до підвищення рівня інтелектуалізації інформаційних технологій. У рамках цього стратегічного напрямку було сформульовано завдання щодо майбутніх фундаментальних і прикладних досліджень. Так, головною метою фундаментальних досліджень відділу на період до 2024 р. є створення нових методів, моделей та алгоритмів інтелектуального управління складними динамічними об'єктами в реальному часі та за умов суттєвого обмеження інформаційних ресурсів. Головною метою прикладних досліджень відділу на той же період є розроблення нового покоління систем розподіленого високоточного дистанційного керування



транспортними засобами (суднами, літаками, безпілотними літальними апаратами тощо) у складних навігаційних ситуаціях і критичних режимах функціонування. На цій базі у най-

ближчій перспективі планується створення багатоцільових автономних комплексів з елементами штучного інтелекту та електронного образного мислення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Павлов В. В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления. Киев : Наукова думка, 1971. 272 с.
2. Павлов В. В. Начала теории эргатических систем. Киев : Наукова думка, 1975. 240 с.
3. Павлов В. В. Конфликты в технических системах. Управление, целостность. Киев : Вища школа, 1982. 184 с.
4. Павлов В. В. Синтез стратегий в человеко-машинных системах. Киев : Вища школа, 1989. 162 с.
5. Павлов В. В., Павлова С. В. Интеллектуальное управление сложными нелинейными динамическими системами: аналитика интеллекта. Киев : Наукова думка, 2015. 216 с.
6. Бибичков А., Павлов В., Гриценко В., Губанов С. «Антикон» – шаг в обеспечении безопасности мореплавания. Судходство. 1999. 3. С. 42–43.
7. Спосіб і пристрій для комп'ютерних мереж керування швидкісними циклами прикладних процесів : пат. 83118 Україна. 24.04.2009.
8. Волков О. Е., Комар М. М., Волошенко Д. О. Devising an image processing method for transport infrastructure monitoring systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. 4 (2). С. 18–25.
9. Гриценко В. І., Шлезингер М. І. Взаимосвязь проблем распознавания образов, машинного мышления и обучения. Проблемы управления и информатики. 2020. 3. С. 108–136.
10. Шенетуха Ю. М., Волков О. Е., Комар М. М. Інтелектуалізація процесів прийняття рішень в автономних системах керування. Cybernetics and Computer Engineering. 2021. 204. С. 49–63.
11. Інтегрально-адаптивний автопілот для просторового маневрування безпілотного літального апарату : пат. 122877 Україна. 13.01.2021.
12. Гриценко В. І., Волков О. Е., Комар М. М., Шенетуха Ю. М., Волошенко Д. О. Інтегрально-адаптивний автопілот як засіб інтелектуалізації сучасного безпілотного літального апарату. Cybernetics and Computer Engineering. 2019. 1 (195). С. 5–22. DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt195.01.005>.
13. Павлова С. В., Волков О. Е. Конфліктна взаємодія повітряних кораблів при попередженні загроз зіткнення. Control Systems and Computers. 2017. 4. С. 83–91.
14. Волков О. Е., Богачук Ю. П., Комар М. М., Волошенко Д. О. Дворівнева технологія інтелектуального застосування бортової відеокамери безпілотних літальних апаратів для моніторингу геопросторових даних. Наукоємні технології. 2020. 3 (47). С. 329–341.
15. Гриценко В. І., Волков О. Е., Богачук Ю. П., Комар М. М., Волошенко Д. О. Технологія застосування методів комп'ютерного зору для ідентифікації та пеленгації цілей у контрольованому просторі. Наукоємні технології. 2021. 2 (50). С. 107–121. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.50.15437>.
16. Гриценко В. І., Волков О. Е., Комар М. М., Богачук Ю. П. Інтелектуалізація сучасних систем автоматичного керування безпілотними літальними апаратами. Cybernetics and Computer Engineering. 2018. 191. С. 45–59.
17. Спосіб оптико-акустичної пеленгації та групової протидії ворожим безпілотним літальним апаратам: пат. 119692 Україна. 25.07.2019.
18. Спосіб категоризації потоку зображень бортової відеокамери для візуальної локалізації та картографування: пат. 124023 Україна. 07.07.2021.

Надійшла 25.02.2022

## REFERENCES

1. Pavlov V. V., 1971. Invariantnost i avtonomnost nelineynykh sistem upravleniya [The invariance and autonomy of non-linear control systems], Naukova dumka, Kyiv, 272 p. (In Russian).
2. Pavlov V. V., 1975. Nachala teoryy rhatycheskykh system [Fundamentals of ergatic systems theory], Naukova dumka, Kyiv, 240 p. (In Russian).
3. Pavlov V. V., 1982. Konflikty v tekhnicheskikh sistemakh [Conflicts in engineering systems], Naukova dumka, Kyiv, 184 p. (In Russian).
4. Pavlov V. V., 1989. Sintez strategiy v cheloveko-mashinnykh sistemakh [Synthesis of strategies in man-machine systems], Vishcha shkola, Kyiv, 162 p. (In Russian).



5. *Pavlov V. V., Pavlova S. V.*, 2015. *Intellektualnoye upravleniye slozhnymi nelineynymi dinamicheskimi sistemami: analiza intellekta* [Intelligent control of complex non-linear dynamic systems: analytics of intelligence], Naukova dumka, Kyiv, 216 p. (In Russian).
6. *Bibichkov A., Pavlov V., Gritsenko V., Gubanov S.*, 1999. “Antikon” – shag v obespechenii bezopasnosti moreplavaniya” [“Anticon” – a step for the provision of navigation safety], *Sudokhodstvo* [Navigation], 3, pp. 42–43. (In Russian).
7. *Pavlov V. V., Pavlova S. V., Bogachuk Yu. P.*, 2009. Sposib i prystriy dlya kompyuternykh merezh keruvannya shvydkisnyymy tsyklamy prykladnykh protsesiv, Ukraine, Pat. 83118. (In Ukrainian).
8. *Volkov O. Ye., Komar M. M., Voloshenyuk D. O.*, 2021. “Devising an image processing method for transport infrastructure monitoring systems”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2), pp. 18–25.
9. *Gritsenko V. I., Shlezinger M. I.*, 2020. “Vzaimosvyaz problem raspoznvaniya obrazov, mashinnogo myshleniya i obucheniya”, *Problemi upravleniya i informatiki*, 3, pp. 108–136. (In Russian).
10. *Shepetukha Yu. M., Volkov O. Ye., Komar M. M.*, 2021. “Intelektualizatsiya protsesiv pryynyattya rishen v avtonomnykh systemakh keruvannya”, *Cybernetics and Computer Engineering*, 204, pp. 49–63. (In Ukrainian).
11. *Gritsenko V. I., Bogachuk Yu. P., Volkov O. Ye.*, et. al., 2021. Intehralno-adaptyvnyy avtopilot dlya prostoroovoho manevruvannya bezpilotnoho litalnoho aparatu, Ukraine, Pat. 122877. (In Ukrainian).
12. *Gritsenko V. I., Volkov O. Ye., Komar M. M., Shepetukha Yu. M., Voloshenyuk D. O.*, 2019. “Intehralno-adaptyvnyy avtopilot yak zasib intellektualizatsiyi suchasnoho bezpilotnoho litalnoho aparatu”, *Cybernetics and Computer Engineering*, 1 (195), pp. 5–22. DOI: 10.15407/kvt195.01.005. (In Ukrainian).
13. *Pavlova S. V., Volkov O. Ye.*, 2017. “Konfliktna vzayemodiya povitryanykh korabliv pry poperedzhenni zahroz zitkneniya”, *Control Systems and Computers*, 4, pp. 83–91. (In Ukrainian).
14. *Volkov O. Ye., Bogachuk Yu. P., Komar M. M., Voloshenyuk D. O.*, 2020. “Dvorivneva tekhnolohiya intelektualnoho zastosuvannya bortovoyi videokamery bezpilotnykh litalnykh aparativ dlya monitorynhu heoprostorovykh danykh”, *Naukoyemni tekhnolohiyi*, 3 (47), pp. 329–341. (In Ukrainian).
15. *Gritsenko V. I., Volkov O. Ye., Bogachuk Yu. P., Komar M. M., Voloshenyuk D. O.*, 2021. “Tekhnolohiya zastosuvannya metodiv kompyuternoho zoru dlya identyfikatsiyi ta pelenhatsiyi tsiley u kontrolovanomu prostori”, *Naukoyemni tekhnolohiyi*, 2 (50), pp. 107–121. DOI: 10.18372/2310-5461.50.15437. (In Ukrainian).
16. *Volkov O. Ye., Bogachuk Yu. P., Komar M. M., Voloshenyuk D. O.*, 2020. “Dvorivneva tekhnolohiya intelektualnoho zastosuvannya bortovoyi videokamery bezpilotnykh litalnykh aparativ dlya monitorynhu heoprostorovykh danykh”, *Naukoyemni tekhnolohiyi*, *Cybernetics and Computer Engineering*, 191, pp. 45–59. (In Ukrainian).
17. *Gritsenko V. I., Bogachuk Yu. P., Shepetukha Yu. M.*, et. al., 2019. Sposib optyko-akustychnoyi pelenhatsiyi ta hrupovoyi protydyi vorozhym bezpilotnym litalnym aparatam, Ukraine, Pat. 119692. (In Ukrainian).
18. *Gritsenko V. I., Volkov O. Ye., Bogachuk Yu. P.*, et. al., 2021. Sposib katehoryzatsiyi potoku zobrazhen bortovoyi videokamery dlya vizualnoyi lokalizatsiyi ta kartohrafuvannya, Ukraine, Pat. 124023. (In Ukrainian).

Received 25.02.2022

*O.Y. Volkov*, Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Director, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Acad. Glushkova ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, alexvolk@ukr.net

*Y.M. Shepetukha*, Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Acting Department Head, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Acad. Glushkova ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, yshep@meta.ua

*Y.P. Bogachuk*, Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Leading Researcher, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Acad. Glushkova ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, bip47@ukr.net

*M.M. Komar*, Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Senior Researcher, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Acad. Glushkova ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, nickkomar08@gmail.com

*D.O. Voloshenyuk*, Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Acad. Glushkova ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, p-h-o-e-n-i-x@ukr.net

## EXPERIENCE IN DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT SYSTEMS FOR CONTROL OF DYNAMIC OBJECTS

**Introduction.** An important area of application of advanced information technologies is intelligent control of dynamic objects in complex environment.

**The purpose** of the article is to analyze and generalize theoretical as well as practical results related to elaboration of systems for intelligent control of dynamic objects. Future research prospects in this area are also outlined.

**Methods.** Methodological tools include theories of intelligent control, decision making, artificial intelligence, computer vision, system analysis, acoustics, problem solving, conflict resolution.

**Results.** The article outlines main results related to intelligent control of dynamic objects in complex and changing environment. Issues of system integrity, distinctions between traditional and intelligent control, usage of artificial intelligence in autonomous systems, data structuring, image comprehension of current situation have been discussed. Information about the implementation of high-precision control systems for various kinds of dynamic objects (sea vessels, aircrafts, UAVs) in the conditions of conflicts as well as essential informational restrictions has been presented.

Though the article covers a wide spectrum of research activities with a considerable period, the authors tried to stress both interconnections and succession of scientific as well as technological achievements in the examined area.

**Conclusions.** Main directions of future research include development and implementation of new approaches to the increase of intellectualization level for information technologies and systems.

**Keywords:** *autonomous control, artificial intelligence, decision making, image comprehension, data structuring.*