

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО
ПРОСТОРУ**

СЕМКО ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 681.5(042.3)

**МЕТОДОЛОГІЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ В
УМОВАХ КОНФЛІКТУ, ОБМЕЖЕНЬ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
Бурячок Володимир Леонідович,
Державний університет телекомунікацій,
завідувач кафедри інформаційної та кібернетичної
безпеки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Оксіюк Олександр Глібович,
Київський національний університет імені Тараса
Шевченка, завідувач кафедри кібербезпеки та захисту
інформації факультету інформаційних технологій;

доктор технічних наук, професор
Козлюк Ірина Олексіївна,
Національний авіаційний університет, професор кафедри
телекомунікаційних систем Інституту аеронавігації;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Сініцин Ігор Петрович,
Інститут програмних систем НАН України, завідувач
відділу інформаційно-аналітичного забезпечення систем
організаційного управління.

Захист відбудеться “02” березня 2017 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.255.01 в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України за адресою: 03186, м.Київ, Чоколовський бульвар, буд. 13,к.601

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України за адресою: 03186, м.Київ, Чоколовський бульвар, буд. 13

Автореферат розісланий “02” грудня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, к.т.н.

О.Г.Лебідь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні системи управління і процеси, що протікають з їх допомогою в певних об'єктах, включаючи кінематичні, динамічні, нелінійні, інформаційні, тощо, структурно та функціонально є складними і багатомірними. Їх прагматична сутність обумовлюється перш за все наявністю взаємозв'язків, правил та відношень, як між власне внутрішніми компонентами, так і з компонентами зовнішнього середовища і описується, як правило, моделями, які відображають специфіку взаємодії цих компонент, елементів та підсистем з зовнішнім і внутрішнім середовищем в умовах невизначеностей, довільних обмежень та конфлікту. Невизначеності обумовлюються при цьому неоднозначністю в доступній інформації про: вектор стану і параметри системи управління (СУ), неконтрольовані завади вимірювання, зовнішні та внутрішні збурення, властивості простору спостереження (ПС), а також наявність об'єктів, які знаходяться в стані конфлікту з об'єктом управління (ОУ). Під конфліктом в цьому сенсі розуміють явище взаємодії по-різному цілеспрямованих сторін – об'єктів, технічних систем (ТС) та технічних ергатичних систем (ТЕС), які або мають складний опис, що не може бути використаним практично, або взагалі не можуть бути повною мірою описаними ні формально, ні вербально.

Проблеми управління, що виникають, та формування гарантовано оцінених, науково-обґрунтованих рішень визначаються при цьому шляхом застосування широкого класу лінійних, нелінійних дискретних, неперервних і неперервно-дискретних об'єктів та систем, а також методів та підходів теорії ігор (ТІ), математичного програмування, рішення динамічних задач дискретної оптимізації в класі детермінованих і недетермінованих моделей, ситуаційного управління та штучного інтелекту (ШІ). Зважаючи на те, що зазначений математичний інструментарій, вирішуючи завдання зіставлення різним альтернативним варіантам множини обраних варіантів синтезу і вибору рішень, *по-перше*, не завжди теоретично обґрунтовується в логічних засадах вибору, аксіоматиці, принципах раціональності та узгодження, теоретичних і практичних аспектах дотримання принципів синтезу систем рішення конфлікту, *по-друге*, не завжди сполучається із спеціальними методами синтезу альтернативних стратегій поведінки і вибору рішень – з часом *виникла нагальна потреба у розробці нових методів, моделей і процедур, які б дозволили вирішувати проблеми формування та вибору серед низки можливих альтернатив науково-обґрунтованих рішень щодо оптимального управління об'єктом у задачах конфлікту взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження (ОС) в умовах невизначеностей і довільних обмежень.*

Великий теоретичний і практичний інтерес в цьому сенсі становлять методи автоматизованого синтезу та вибору стратегій поведінки, управління, спостереження, вивчення та навчання щодо систем вирішення конфліктів в ТС або ТЕС, які реалізовані в дискретному обчислювальному середовищі і використовуються для забезпечення функцій управління в інформаційних, навігаційних, тренажерних, навчальних та інших системах за умов зовнішнього і/або внутрішнього конфлікту. Їх застосування передбачає, як відомо, наявність управляючого пристрою (УП) системи інтелектуального управління (СІУ) ОУ, а також ОС і середовища, в якому він знаходиться. СІУ ОУ забезпечує при цьому рішення конфліктів в середовищі існування учасників (гравців), що знаходяться в стані постійної зміни активності в середовищі

конфліктуючих сторін. Стратегії управління, які синтезуються, обираються як варіанти або альтернативи можливих найкращих рішень з точки зору критерію відбору або функції, що оцінює синтезоване рішення та правила зупинки.

На дослідженні окремих аспектів цих питань зосереджені зусилля багатьох як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Зокрема це Чикрій А.О., Черноусько Ф.Л., Павлов В.В., Кунцевич В.М., Михалевич В.С., Шор Н.З., Понтрягін Л.С., Поспелов Д.А., Поспелов Г.С., Коваленко І.М., Красовський М.М., Скуріхін В.І., Суботін А.І., Растригін Л.О., Бурбаки Н., Касьянов В.О., Ріхтер К. та інші. Тим не менш напрацювання основних положень, які дозволили б сформувати комплексне рішення конфлікту в складних ТС та ТЕС шляхом синтезу їх цілісного ціледосягаючого управління за умов обмежень та невизначеності процесів функціонування цих систем – нині знаходиться на стадії досліджень.

Зважаючи на таке, **проблема**, процедура вирішення якої розглядається в роботі, полягає у *забезпеченні поліноміального часу рішення задач конфлікту та стійкості функціонування СІУ об'єктами в цілому при їх взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах існуючих обмежень та невизначеностей*. Виникненню цієї проблеми сприяє низка протиріч, обумовлених як обмеженими можливостями традиційних підходів щодо рішення конфліктів в ТС і ТЕС, так і застосуванням існуючих моделей й методів синтезу оптимальних рішень і управління конфліктуючими системами та об'єктами в реальному часі. Проблема може бути вирішена за рахунок розроблення моделей і методів, які використовують упорядковану послідовність процесів синтезу траєкторій переміщення об'єкта в просторі спостереження. Головною вимогою до зазначених методів і моделей є *P*-час обчислень і сталість СІУ при рішенні конфлікту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати якого викладено в дисертаційній роботі, виконувалося відповідно до державних програм та планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, АНТК ім. О.К.Антонова, Державного агентства з питань електронного урядування України, Національного космічного агентства України, Міністерства оборони України, Державної служби зайнятості України; Служби безпеки України, Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України в межах таких НДДКР: шифр «Модернізація-С» (тема «Модернізація існуючих засобів функціональних центрів, комплексів та систем подвійного призначення, які знаходяться у сфері управління НКАУ, для виконання завдань спеціального інформаційного призначення», номер держреєстрації 0103U005355); шифр «Сейсмологія» (тема «Комплекс робіт з розробки системи технічного захисту інформації для інформаційно-обчислювального центру Головного центру спеціального контролю», номер держреєстрації 0103U008106); шифр «Моніторинг-С» (тема «Обстеження інформаційно-аналітичної системи НКАУ та розробка рекомендацій щодо забезпечення вимог технічного захисту інформації в ІАС НКАУ», номер держреєстрації 01032U008326); шифр «Мережа» (тема «Створення комп'ютерної мережі на базі технології WI-FI та дослідження питань щодо створення системи захисту інформації», номер держреєстрації 0104U004812); шифр «Аспект» (тема «Розробка бортової

системи психофізіологічного моніторингу космонавтів: методичний та інженерно-технологічний аспекти», номер держреєстрації 0199U004488); шифр «TVBase70» (тема «Розробка програмного забезпечення системи реєстрації та обробки відео зображення для рішення задач вимірювання траєкторії руху стренг витяжних парашутних систем в процесі її буксирування за літаком АН-70», номер держреєстрації 0101U007888); шифр «Імунологія» (тема «Розробка нової технології функціонування на регіональному рівні державної системи проведення моніторингу і профілактики імунокерованих інфекційних захворювань – складової системи інформаційно-аналітичного забезпечення та раціонального природокористування загальнодержавних та регіональних органів влади», номер держреєстрації 0106U012520); шифр «Мережа» (тема «Розроблення технічного завдання на комплексну систему захисту інформації мультисервісної мережі Київської міської державної адміністрації», номер держреєстрації 0106U005506); шифр «Зір» (тема «Розробка технології та програмного забезпечення перетворення зображень та ведення графічних баз даних для лікувальних закладів», номер держреєстрації 0106U005505); шифр «Дозвіл» (тема «Розроблення програми для ПЕОМ щодо ведення бази даних дозволів на викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря та надання інформації громадськості», номер держреєстрації 0105U008998); шифр «Сховище» (тема «Розробка системи захисту інформації технології сховища даних», номер держреєстрації 0106U012519); шифр 05/07/99 (тема «Дослідження та пропозиції щодо методології оцінки екологічного ризику об'єктів навколишнього середовища в структурі дизайн-ергономічної діяльності», номер держреєстрації 0104U004812); шифр «Радіус» (тема «Створення концепції та політик технічного захисту інформації у інформаційно-телекомунікаційних системах, що належать ВАТ "Укртелеком"», номер держреєстрації 0108U000999); EUROPEAID/114372/C/S/ UA «Enhancing Border Management: Supply of Border Management. Equipment to the Sumy Border Guard Detachment Ukraine» (2004-2005p.p.); «Programme for the prevention, preparedness, and response to man-made and natural disasters in the ENPI East Region-EuropeAid/129397/C/SER/Multi», PROJECT REFERENCE: EP 105044 (2014p.); шифр «ДЦІР5-1» (тема «Послуги з доопрацювання складових компонентів інформаційно-телекомунікаційної системи електронної взаємодії органів виконавчої влади з придбанням примірника програмної продукції перевірки/накладання електронного цифрового підпису та примірника програмної продукції платформи віртуалізації серверів VMWare vSphere (ESX/ESXi) з системою vCenter Server», номер держреєстрації 0115U006734); шифр «НП/2-2015» (тема «Розробка вимог до архітектури Системи електронної взаємодії державних електронних інформаційних ресурсів», номер держреєстрації 0115U007171); шифр «НДР-08/123-2015» (тема «Доопрацювання Єдиного інформаційного веб-ресурсу звернень громадян до органів державної влади та органів місцевого самоврядування в частині ідентифікації особи та інтеграції до системи електронної взаємодії органів виконавчої влади», номер держреєстрації 0115U007172).

Мета і задачі дослідження. *Мета дисертаційної роботи* полягає у підвищенні швидкодії і стійкості функціонування систем інтелектуального управління об'єктами в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження. Досягнення поставленої мети вимагає вирішення таких *завдань*:

1) проведення аналізу та узагальнення наукових і методологічних засад щодо існуючих підходів і методів вирішення конфліктів в ТС та ТЕС;

2) розроблення методу рішення конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей, як *NP*-повної перебірної задачі динамічної дискретної оптимізації;

3) розроблення теоретико-множинної моделі взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження за умов конфлікту, обмежень та невизначеностей;

4) розроблення семіотичної моделі взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною ОС в просторі спостереження;

5) розроблення семантичної моделі взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною ОС в просторі спостереження;

6) розроблення вирішуючих правил і формальних методів визначення інформаційних множин доповнення простору рішень (ПР) та гарантованого управління ОУ;

7) розроблення методу формування функціонального віртуального ПР для варіативної множини ОС;

8) розроблення методу синтезу і вибору стратегій (траєкторій) переміщення та гарантованого управління ОУ в ПР при рішенні конфлікту (методу інтегрального усікання варіантів і *P*-алгоритму синтезу рішень та ланцюжків гарантованого управління ОУ в ПР);

9) проведення імітаційних експериментів з метою підтвердження теоретичних положень, а також дослідження стійкості і часових характеристик на імітаційній моделі функціонування СІУ при рішення конфлікту взаємодії ОУ з варіативною множиною ОС в умовах обмежень та невизначеностей.

Виходячи з такого, у роботі *об'єктом дослідження* є процеси оптимального управління багатомірними об'єктами в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження. *Предметом дослідження* – методологія синтезу стратегій оптимального управління об'єктами в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої наукової проблеми в дисертаційній роботі використані методи теорії динамічних, нелінійних, конфліктних систем; теорія і обчислювальні методи дискретної динамічної оптимізації; теорії ергатичних систем; теорії автоматичного керування; теорії оптимального керування; теорії множин; теорії графів; теорії конфліктів; теорії ігор; синтезу систем ситуаційного управління; теорії диференціальних рівнянь; теорії інтегральної інваріантності та автономності нелінійних систем; основ топології; теорії алгоритмів; об'єктно-орієнтованого програмування і оптимізації (для розробки імітаційних моделей та обчислювальних експериментів).

Експериментальні дослідження здійснені шляхом імітаційного моделювання в сучасному обчислювальному середовищі з застосуванням обчислювальних методів, підходів штучного інтелекту, системного аналізу та сучасних технологій об'єктно-орієнтованого та абстрактного програмування з використанням імперативних та функціональних парадигм програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні теоретичних та практичних методів прийняття рішень, що дозволять в подальшому отримувати більш прості процедури синтезу рішень щодо управління об'єктом при розв'язанні конфлікту взаємодії об'єктів в ПС за умов обмежень, невизначеностей та варіативної множини об'єктів спостереження. Новими науково-обґрунтованими результатами, які отримані в дисертаційній роботі, є:

– вперше розроблений метод рішення конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей, як *NP*-повної перебірної задачі динамічної дискретної оптимізації, **що дозволило** за рахунок реалізації основних підходів до рішення задач дискретної оптимізації: *визначити* принципи рішення конфлікту великої розмірності з високим рівнем абстракції в гарантовано оціненому просторі рішень для скінченних розривних областей параметрів математичної моделі, довільній системі обмежень та варіативній множині об'єктів спостереження; *визначити* властивості методу рішення конфлікту при множинному уявленні простору рішення, множин параметрів, які визначають переміщення об'єкта управління за синтезованою траєкторією, при умові гарантованого управління в класі поліноміальних алгоритмів; *розробити* алгоритм рішення конфлікту, як задачі динамічної дискретної оптимізації;

– вперше розроблений метод синтезу та вибору стратегій (траєкторій) переміщення та гарантованого управління об'єктом при рішенні конфлікту, **що дозволило** за рахунок вперше розробленого методу інтегрального усікання варіантів, адитивного критерію та правила зупинки при виборі оптимального рішення: *визначити* чисельне, а не аналітичне подання моделі рішення конфлікту і обмежень конфліктуючої системи; *визначити* оптимальну траєкторію переміщення об'єкта управління за умов його оптимального управління; *визначити* формалізовану структуру алгоритму, що спрощує процес рішення конфлікту; *забезпечити* *P*-час рішення конфлікту;

– удосконалена теоретико-множинна модель взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження за умов конфлікту, обмежень та невизначеностей, **що дозволило** за рахунок системно-структурного та системно-функціонального дослідження явища: *визначити* основні взаємозв'язки конфлікту з середовищем, в якому конфлікт розвивається; *визначити* характер і способи біфуркації елементів і підструктур конфлікту; *дослідити* властивості топологічності математичного простору представлення для теоретико-множинної моделі конфліктної системи; *сформувати* формальну модель конфлікту взаємодії об'єктів конфліктуючої системи в просторі спостереження; *визначити* концептуальний підхід і метод запобігання та рішення конфлікту в класі поліноміальних алгоритмів;

– удосконалений метод формування функціонального віртуального простору рішень для варіативної множини об'єктів спостереження, **що дозволило** за рахунок інтегрального формального множинного уявлення простору рішень: *врахувати* невизначеність при переміщенні об'єктів спостереження в просторі рішень; *визначити* множини гарантованого управління об'єктом управління при переміщенні за синтезованою траєкторією рішення конфлікту при переслідуванні та втіканні; *визначити* напрямки переміщення інформаційних множин небезпечних станів в просторі рішення конфлікту; *визначити* інтегральне формальне множинне уявлення простору рішень відповідно до запропонованої теоретико-множинної моделі опису конфлікту;

– удосконалені вирішуючі правила і формальні методи визначення інформаційних множин, доповнення простору рішень, гарантованого управління об'єктом при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження, **що дозволило** за рахунок формального представлення стану простору рішень: *визначити* множину простору комбінованого управління об'єктом; *визначити* спосіб доповнення простору рішень; *визначити* спосіб розрахунку секторів небезпечних напрямків переміщення об'єкта управління; *визначити* спосіб доповнення простору рішень; *визначити* спосіб формального опису простору рішень.

Дістали подальшого розвитку:

– методологія використання знакових моделей при теоретико-множинному уявленні конфлікту шляхом застосування семіотичної моделі опису взаємодії об'єктів, **впровадження якої дозволило** за рахунок правил визначення граматик та мови опису стану об'єкта: *використати* контекстно-вільні граматики для опису мовних структур визначення ситуації взаємодії об'єктів в просторі спостереження; *забезпечити* синтез стратегій керуючих впливів в системі інтелектуального управління об'єктом при рішенні конфлікту;

– метод ситуаційного моделювання рішення конфлікту з застосуванням семантичної моделі опису взаємодії об'єктів, **впровадження якого дозволило** за рахунок удосконалення функціональної структури системи ситуаційного управління, граматик та мови опису процесів взаємодії об'єктів: *використати* методи лексичного, синтаксичного та семантичного аналізу для синтезу ланцюжків опису подій в системі інтелектуального управління об'єктом; *забезпечити* синтез ланцюжків гарантовано оцінених керуючих впливів за синтезованими стратегіями в системі інтелектуального управління при рішенні конфлікту; *визначити* набори ланцюжків керування об'єктом управління за синтезованими стратегіями рішень конфлікту за умов обмежень, невизначеності та варіативної множини об'єктів спостереження.

Практичне значення одержаних результатів у сукупності складає підґрунтя для вдосконалення методології оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі спостереження. Одержані результати дозволяють створювати гомеостатичні системи інтелектуального управління (СІУ) об'єктами, включаючи динамічні нелінійні. Результати досліджень реалізовано в:

- українській військово-медичній академії Міністерства оборони України при створенні інформаційно-телекомунікаційної системи гарантованого оцінювання та корекції психофізіологічного стану військовослужбовців (НДР шифр «Аспект», акт про впровадження результатів від 02.09.2011р.);

- головному центрі спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів Національного космічного агентства України при створенні автоматизованої системи збору та обробки інформації (НДР шифр «Модернізація-С», шифр «Сейсмологія», шифр «Моніторинг-С», акт про впровадження результатів від 15.02.2011р.);

- державному підприємстві «Медичний центр безпеки дорожнього руху та інформаційних технологій» Міністерства охорони здоров'я України при створенні і

впровадження автоматизованої системи ведення бази даних медичних комісій та виданих ними медичних довідок (акт впровадження результатів від 06.06.2016р.);

- державному підприємстві «Держінформресурс» Державного агентства з питань електронного урядування при доопрацюванні та впровадженні системи електронної взаємодії органів виконавчої влади України (ДКР шифр «НП/2-2015», НДР шифр «НДР-08/123-2015», акт впровадження результатів від 05.03.2015р.);

- товаристві з обмеженою відповідальністю «БМС-консалтинг» при доопрацюванні складових частин програмних компонентів системи електронної взаємодії органів виконавчої влади та місцевого самоврядування з метою введення в промислову експлуатацію інформаційно-телекомунікаційної системи електронної взаємодії, що забезпечує автоматизацію процесів створення, відправлення, передавання, одержання, оброблення, використання, зберігання та знищення електронних документів та копій паперових документів в електронному вигляді з використанням електронного цифрового підпису, які не містять інформацію з обмеженим доступом, та контролю за виконанням актів, протокольних рішень Кабінету Міністрів України та інших документів (ДКР шифр «ДЦР5-1», акт впровадження результатів від 11.02.2016р.);

- товаристві з обмеженою відповідальністю «Об'єднання ЮГ» при створенні та впровадженні інформаційних технологій інтелектуального управління засобами захисту ресурсів інформаційно-телекомунікаційних систем від несанкціонованого доступу (акт впровадження результатів від 05.06.2016р.).

За результатами дисертаційних досліджень отримано:

1) свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №25553 від 24.09.2008. Комп'ютерна програма «Програма для ПЕОМ щодо ведення бази даних дозволів на викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря та надання інформації громадськості» («Дозвіл») / В.В.Семко, О.О.Михайловський; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю «Елан»; заява №26809 від 22.08.2008; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №12, Бюл. №17;

2) свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №26411 від 11.11.2008. Комп'ютерна програма «Психодіагностичні методики» до тематичного блоку «Пізнай себе» Програмно-апаратного комплексу «Профорієнтаційний термінал» / В.В.Семко, О.О.Михайловський; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю «Елан»; заява №27406 від 27.10.2008; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №12, Бюл. №17;

3) свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №39113 від 11.07.2011. Комп'ютерна програма «Крос-платформена клієнт-серверна технологія захищеного обміну електронними даними з використанням терміналів мобільного телефонного зв'язку» («ТЗОД») / Семко В.В., Михайловський О.О., Гіденко О.В., Зінов'єв О.В., Мельник В.Т., Барткова В.А.; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю «Елан»; заява №39558 від 20.05.2011; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №15, Бюл. №25.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які виносяться на захист, отримані автором особисто і опубліковані в одноосібно підготовлених працях [2, 5, 6, 8, 10, 11, 12,

15, 18, 19, 20, 22, 31, 33].

У наукових працях, написаних у співавторстві, автору належить: [1] – формальний опис методу інтегрального усікання варіантів; [3] – технічні вимоги до системи збирання параметрів щодо стану операторів на об'єктах соціально-економічної та інформаційної діяльності; [4] – топологія системи виявлення показників психофізіологічного стану особистості для професійної діагностики та оцінки стану оператора інформаційно-телекомунікаційної системи; [7] – постановка задачі, математична модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі, теоретичне обґрунтування, постановка імітаційного експерименту; [9] – постановка задачі, модель системи інтелектуального управління конфліктом, теоретичне обґрунтування, постановка імітаційного експерименту; [13] – формальна модель конфлікту для дискреційної моделі управління доступом в інформаційно-телекомунікаційній системі; [14] – формальна та імітаційна моделі оцінки можливості отримання Z-системи, як конфліктуючої системи, при зміні стану інформаційно-телекомунікаційної системи; [16] – постановка задачі, теоретичне обґрунтування, постановка імітаційного експерименту щодо побудови областей керованих станів динамічного об'єкта; [17] – постановка задачі, обґрунтування методу вирішення; [21] – математична множинна модель конфліктуючих об'єктів в умовах невизначеності і обмежень; [23] – алгоритм вирішення конфлікту в віртуальному просторі знань при теоретичній підготовці інженерів-пілотів; [24] – топологія та концептуальна побудови модель конфлікту в інформаційно-телекомунікаційних системах санітарних та природоохоронних служб при врахуванні викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря; [25] – модель попередження конфлікту при ранній професійній орієнтації школярів з використанням психодіагностичних методик; [26] – модель та алгоритми ситуаційного управління системою безпеки інформації при передачі негетерогенних електронних повідомлень в системах спеціального зв'язку; [27] – структура та проблемні аспекти функціонування мережі *INTERNET* в кіберпросторі; [28] – концептуальні засади та топологія створення інформаційно-аналітичної системи; [29] – концептуальні засади та топологія створення автоматизованої системи; [30] – математична модель оцінки та прогнозування помилкових дій людини-оператора при конфлікті в інформаційно-телекомунікаційній системі; [31] – концептуальна модель конфлікту взаємодії конфліктуючих елементів кібернетичної системи; [32] – концепція, структура, топологія, основні функціональні вимоги до взаємодії об'єктів та суб'єктів захищеної операційної системи в умовах конфлікту; [33] – засади топологічного аналізу та обґрунтування теоретичних засад визначення способу рішення конфлікту.

Апробація результатів дисертації. Наукові результати та основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались на республіканських, всесоюзних і міжнародних наукових семінарах і конференціях, а саме: засіданні республіканського наукового семінару «Ергатичні системи управління» (Київ, 1988-1991р.р.); секціях п'ятої всесоюзної науково-практичної конференції по безпеці польотів «Безпека польотів і профілактика авіаційних подій» (м.Ленінград, 1988 р.); секціях міжвідомчої науково-практичної конференції «Проблеми професійної підготовки на етапі прискорення НТП» (м.Кіровоград, 1989 р.); науково-технічному семінарі «Застосування машинної графіки в моделюванні і навчальних системах» (м.Пенза, 1989 р.); секціях всесоюзної науково-

технічної конференції «Методологія створення і досвід експлуатації АСУ в цивільній авіації» (м.Рига, 1989р.); наукових семінарах кафедри безпеки польотів КІПЦА (Київ, 1987-1991р.); секціях другої всесоюзної науково-практичної конференції «Проблеми застосування технічних засобів у формуванні професійних навичок при первісній підготовці льотного складу» (м.Актюбінськ, 1989р.); секціях відомчої науково-практичної конференції «Профилактическая деятельность предприятий гражданской авиации по предотвращению авиационных происшествий» (м.Київ, 1990 р.); секціях міжнародної науково-практичної конференції «Забезпечення безпеки польотів в нових економічних умовах» (м.Київ, 1997р.); секціях II міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» (м.Київ, 2009р.); секціях першого міжнародного з'їзду «Медична та біологічна інформатика і кібернетика» (м.Київ, 2010р.); секціях IV, V та IV міжнародних науково-практичних конференцій «Комп'ютерні системи та мережні технології» (м.Київ, 2011 – 2013 р.р.); наукових семінарах Інституту комп'ютерних інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, 2013р.); наукових семінарах Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України (Київ, 2010-2013р.), секціях науково-технічної конференції студентів, аспірантів, викладачів та науковців «Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави» (м.Київ, 2014р.); наукових семінарах Державного університету телекомунікацій (Київ, 2014-2015р.); науковому семінарі кафедри системного аналізу і теорії прийняття рішень факультету кібернетики Київського національного університету імені Т.Г. Шевченка (Київ, 2012-2015р.); наукових семінарах кафедри комп'ютерних систем управління Інституту комп'ютерних інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, 2013-2014р.); наукових семінарах кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки Державного університету телекомунікацій (Київ, 2014-2016р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи повно викладені в 33 публікаціях, що включають: 1 учбовий посібник [27], 21 наукова стаття, з яких 20 [1-17, 19-21] - в наукових спеціалізованих фахових виданнях, затверджених МОН України і 1 стаття в міжнародному науковому журналі [18]. З 11 статей [2, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 15, 18, 19, 20], які написані без співавторів, 1 стаття [15] надрукована у виданні України, яке включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, 2 статті [8, 11] - до міжнародної наукометричної бази eLIBRARY.RU, 3 статті [18, 19, 20] - до міжнародної наукометричної бази Google Scholar, 1 стаття [18] - до міжнародної наукометричної бази IndexCopernicus. З 10 статей [1, 3, 4, 7, 9, 13, 14, 16, 17, 21], які написані з співавторами, 3 статі [9, 13, 14] надруковані у виданнях України, які включені до міжнародної наукометричної бази IndexCopernicus, 3 статті [13, 14, 21] - до міжнародної наукометричної бази Google Scholar. Отримано 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір [24, 25, 26]. Додатково основні наукові результати відображені у 6 тезах доповідей на науково-технічних конференціях [28 - 33], 6 депонованих рукописах, 3 наукових статтях в фахових виданнях, які були опубліковані до 1992 року.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та п'яти додатків. Повний обсяг дисертації становить 422 сторінки, у тому числі: 262 сторінки основного тексту, 82 рисунки і 11 таблиць, 232 найменувань літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** проаналізовано стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми дослідження та наукових задач, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено наукову новизну, об'єкт і предмет дослідження, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації та впровадження результатів дослідження.

У **першому розділі**:

1. Проведено аналіз існуючих підходів і методів вирішення конфліктів в ТС та ТЕС й сформовано основні напрями проведення дослідження, вирішуючи які доцільно виходити з того, що нині, при розв'язанні конфлікту в ТС та ТЕС суттєво підвищується значення СІУ (рис.1), одними із головних елементів якої є інтелектуальний перетворювач (ІП), яким може бути експертна система або система ситуаційного управління, пристрій управління та ОУ.



Рис. 1. Узагальнена структурна системи інтелектуального управління

Особливими властивостями СІУ при здійсненні ситуаційного управління рішенням конфлікту є: збирання і накопичення інформації щодо взаємодії ОУ з ОС в ПС; опис поточної ситуації щодо подій на мові, що відображає усі основні параметри і зв'язки, які необхідні для визначення поточної ситуації та синтезу рішення; мова опису ситуації і подій, яка має відображати кількісні і якісні факти та події, що визначають поточну ситуацію; класифікація ситуацій та визначення правил перетворення, яка визначається предметною областю знань про елементи конфліктуючої системи і властивості середовища конфлікту. Для визначення методу ситуаційного управління рішенням конфлікту в дисертації застосовано семіотичну модель, що в якості похідної використовує формальну модель, яка вміщує множину базових елементів конфліктуючої системи, синтаксичні правила, аксіоматику системи, семантичні правила та інтерпретовану формальну модель конфлікту в теоретико-множинному уявленні.

2. Запропоновано структуру семіотичної моделі ІП СІУ для формальної моделі взаємодії елементів конфліктуючої системи, яка задана четвіркою $M = \langle T, P, A, \Pi \rangle$, де T - множина базових елементів, P - синтаксичні правила, A - система аксіом, Π - семантичні правила. Для формальної моделі M визначена інтерпретуюча формальна модель $L = \langle Z, D, H, V \rangle$, де Z - множина значень, які інтерпретуються, D - правила відображення, які надають відображення $T \rightarrow Z$ та зворотне $Z \rightarrow T$

(приписує кожному відображенню T деяке відображення, що його інтерпретує), H - правила відображення, V - правила інтерпретації, які дозволяють приписувати деяке інтерпретуюче значення до будь-якої синтаксично правильної сукупності базових елементів. Інтерпретуюча формальна модель L дозволяє визначити семіотичну модель $C = \langle M, \chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_\Pi \rangle$, де $\chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_\Pi$ - правила зміни елементів формальної моделі M . В такому разі елементи моделі M можуть змінюватись при рішенні конфлікту.

3. Запропоновано структуру математичної моделі інтелектуального перетворювача $Y = F(x, u, w, p, z)$, де $F(\cdot)$ - деякий оператор інтелектуального перетворення, який характеризує структуру та роботу ПІ, x - вектор стану СІУ, u - вектор управління, w - вектор впливу зовнішнього середовища, p - вектор сигналів мети (цілі), z - вектор параметрів ОУ, а також систему рівнянь, що описують ОУ $\begin{cases} x = f(x, u, w, t) & \text{при } x(t_0) = x_0 \\ y = C(x) & \text{при } t \geq t_0 \end{cases}$, де $f(\cdot)$ - вектор-функція, яка описує властивості ОУ; $C(\cdot)$ - задана функція вихідних сигналів ПІ; t - координата часу; y - вихідний вектор (вектор вимірів).

4. Запропоновано структуру математичної моделі, що формально описує конфлікт в ТС та/або ТЕС - $\Gamma = \langle R_d, S_{R_d}, S, R_\Pi, G_{R_\Pi} \rangle$, де R_d - множина, яка об'єднує учасників конфлікту (гравців) за їх діями, S_{R_d} - множина стратегій дій (коаліції дій), S - множина стратегій поведінки (дій) об'єктів, R_Π - множина, яка об'єднує учасників конфлікту (гравців) за цілями (інтересами) та G_{R_Π} - множина відношень інтересів (коаліції інтересів).

5. Сформульовано низку аксіом, які застосовуються при формуванні математичної моделі сукупності елементів ОУ, яким може бути динамічний об'єкт (ДО) або динамічна система (ДС) (рис.2).

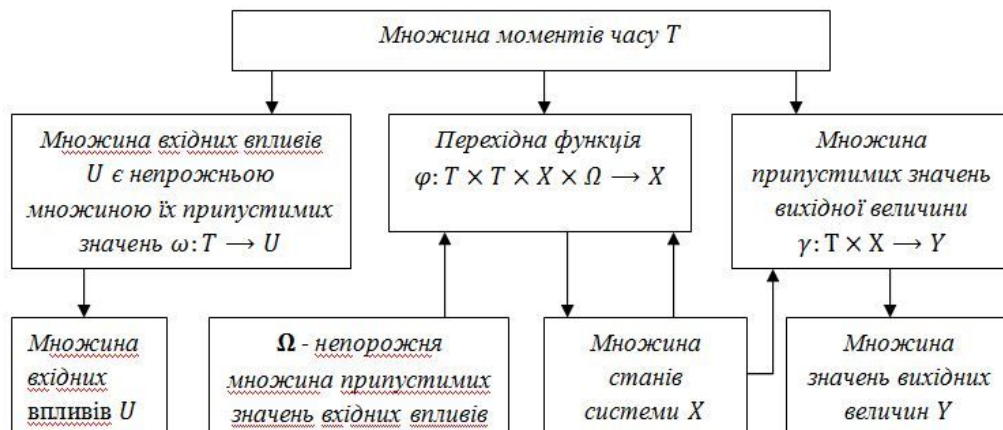


Рис.2. Структурна схема математичної моделі сукупності елементів

6. Запропоновано структуру математичної моделі синтезу та прийняття рішень $D_0 = \langle Y, G, U, J, \Omega \rangle$, що зв'язує значення невизначених чинників і стратегій з управлінням, що реалізується СІУ, де Y - множина результатів, G - модель переваг результатів (рішень, що приймаються), U - множина стратегій прийняття рішень, L - множина можливих значень невизначених чинників, J - функція, що визначає взаємозв'язок невизначеного

чинника і результат, що отримується в результаті прийнятого рішення, Ω - інша інформація про рішення, що приймається (формалізовані відомості про конфлікт, переваги учасників, тощо), множина $T \times X$ - простір подій (фазовий простір, простір станів), закон управління - відображення $k: T \times X \rightarrow U$, де значення $u(t) = k[t, x(t)]$ належить множині U , $x(t)$ - змінна стану, що потребує здійснення зворотного відображення $\gamma^1: Y \rightarrow X$ для визначення координати об'єкту або системи за умови $x(t) = \gamma^1[y(t)]$.

7. Запропоновано структурну схему системи інтелектуального управління об'єктом та визначено:

а) підсистему синтезу цілі та рішень (ПСЦР, що забезпечує синтез стратегій вирішення та вибір ланцюжків гарантовано оціненого управління ОУ при вирішенні конфлікту взаємодії з варіативною множиною ОС в ПС за умов забезпечення цілісності і ціледосяжності, і взаємодіє з модулями СІУ, які забезпечують взаємодію з засобами введення та виведення похідних і вихідних даних, а також управління в середовищі функціонування ОУ (рис. 3);

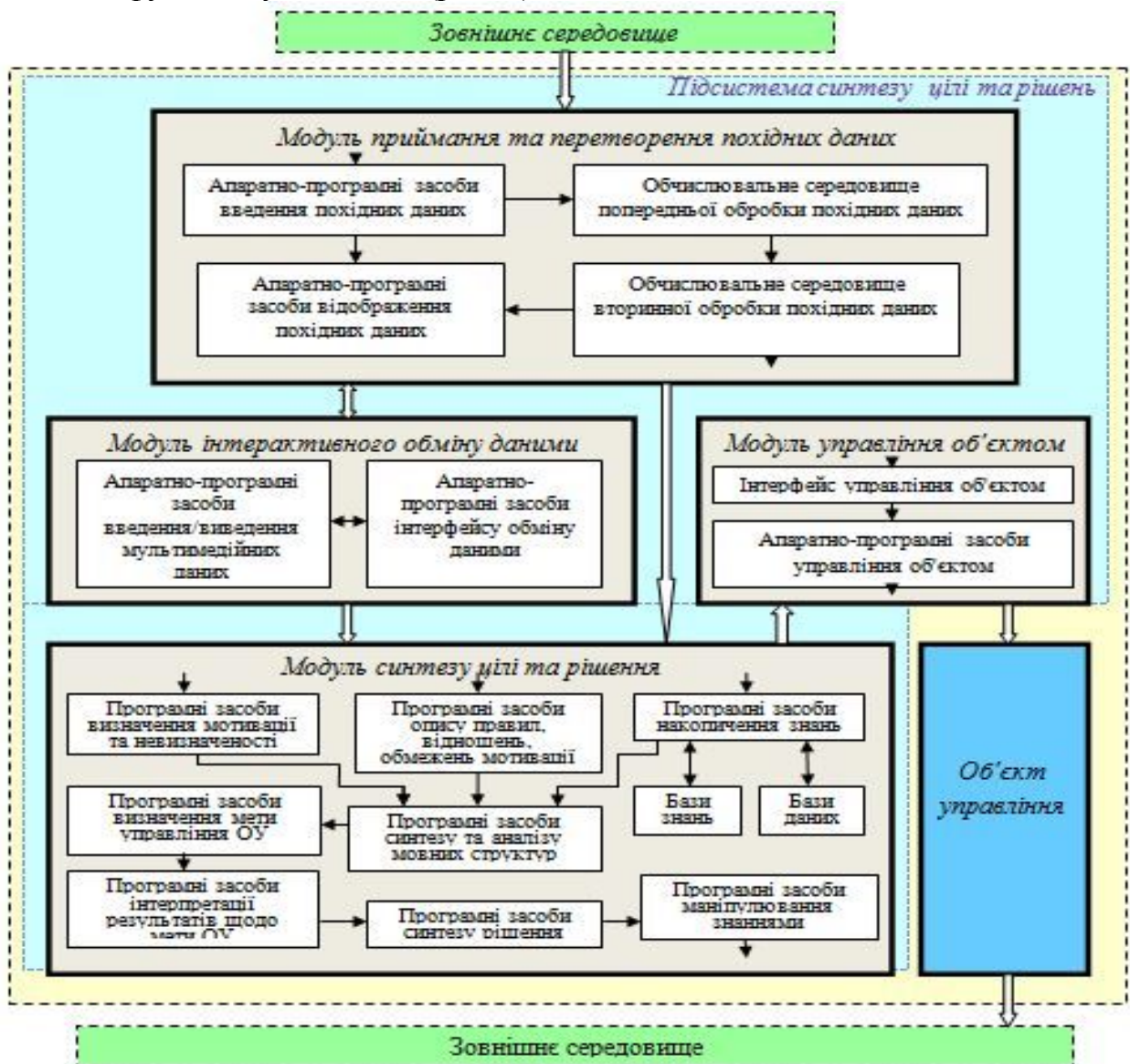


Рис. 3. Структурна схема системи інтелектуального управління об'єктом

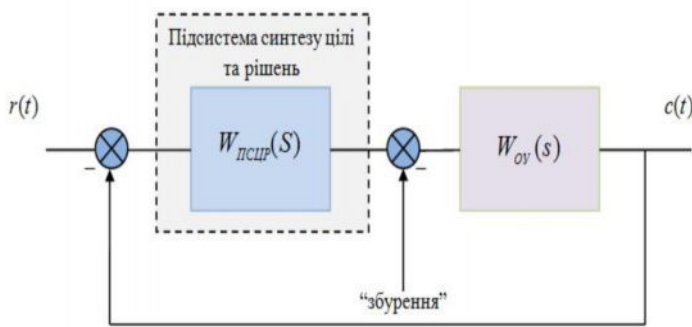


Рис. 4. Система з квазілінійною моделлю інтелектуального управління об'єктом

б) структурну схему СІУ ОУ з використанням ПСЦР та ОУ, що утворюють систему з квазілінійною моделлю управління (рис. 4);

в) регулятор СІУ (ПСЦР), який для забезпечення стійкості має бути стабілізуючим передаточною функцією СІУ

$$Q(S) = \frac{W_{\text{ПСЦР}}(S)}{1 + W_{\text{ПСЦР}}(S)W_{\text{ОУ}}(S)};$$

г) характеристики параметричного стабілізуючого регулятора, ПІ та СІУ ОУ, які при застосуванні методів синтезу рішень конфлікту в СІУ оцінюються за параметризацією Юла, як система з квазілінійною моделлю управління і підлягає дослідженню в часовій і частотних областях, а також стійкості.

8. Сформульовано наукову проблему, що підлягає вирішенню, запропоновано загальну концепцію дисертаційного дослідження (рис. 5).

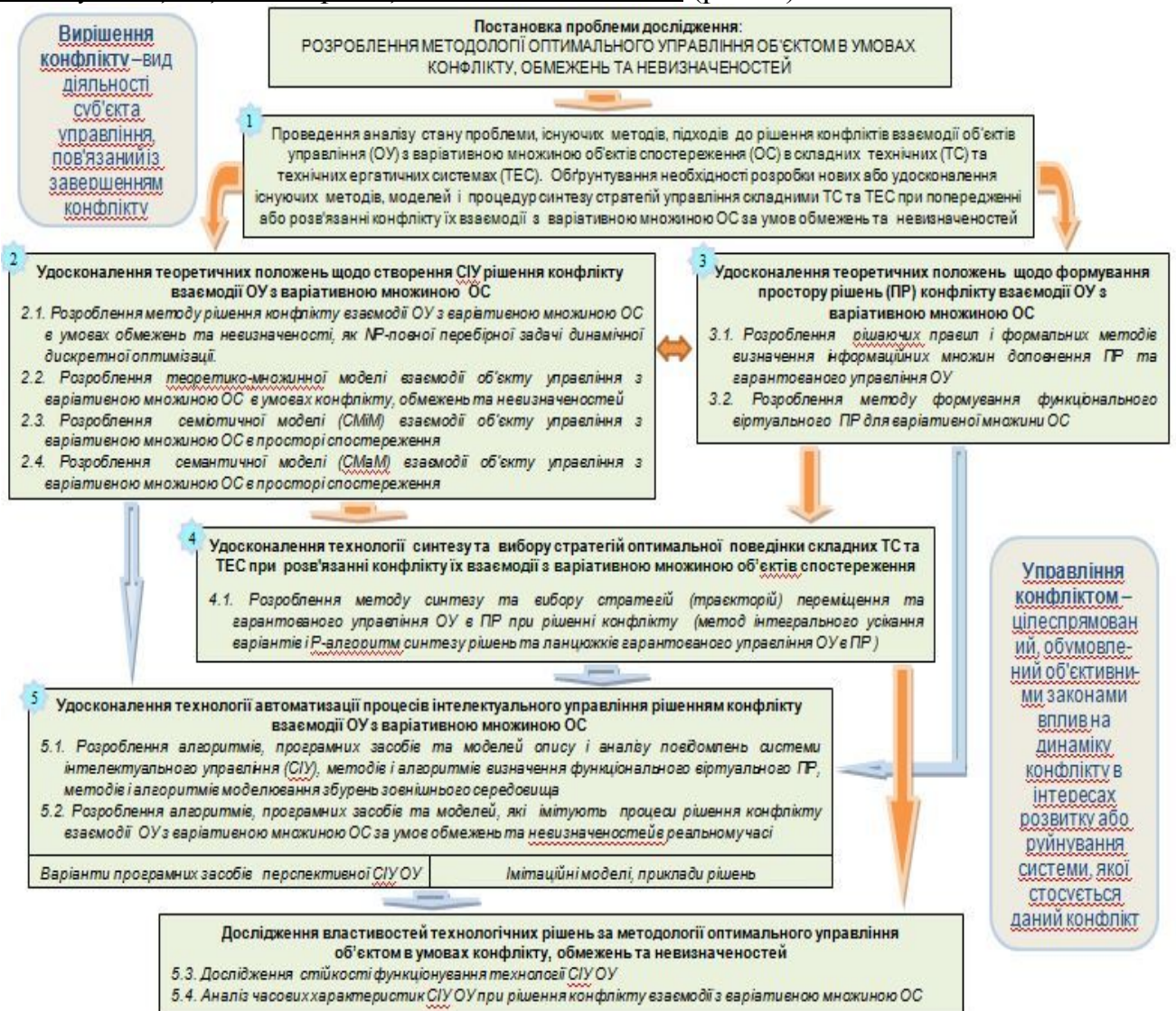


Рис. 5. Загальна концепція дисертаційного дослідження

У **другому розділі** удосконалено процеси створення системи інтелектуального управління рішенням конфлікту взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей за рахунок розроблення:

теоретико-множинної моделі взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження за умов конфлікту, обмежень та невизначеностей;

семіотичної моделі взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною ОС в просторі спостереження;

семантичної моделі взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною ОС в просторі спостереження.

методу рішення конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей, як *NP*-повної перебірної задачі динамічної дискретної оптимізації.

Вирішенню задачі конфлікту взаємодії ОУ з варіативною множиною ОС передують розробка *концепції топологічного ситуаційного аналізу та синтезу стратегій управління об'єктом та формування системи обмежень простору спостереження*.

Концепція передбачає:

а) використання інтегрально-топологічних методів (ІТМ) та методів функціонально-структурного аналізу (МФСА), що базуються на використанні математичних моделей опису властивостей процесів, включаючи динамічні, пов'язані з об'єктами як системами і використовують аналітико-комп'ютерні методи, методи нелінійної інтегральної інваріантності та призначені для одержання топологічних структур ПС, поведінки та рішення для синтезу і вибору управлінь ОУ;

б) вирішення задачі взаємодії ОУ з множиною ОС в ПС, що породжує збільшення розмірності моделі процесу управління і, як наслідок, поліноміальне збільшення складності адекватного до моделі процесу управління ОУ, тобто

$$N = \frac{(m+1)^2}{2}$$
, де N - кількість часткових задач управління, m - мірність вектору

фазових характеристик ОС; n - кількість ОС, що збільшує час розв'язання задачі конфлікту і може призвести до ефекту «доміно» та неконтрольованому зростанню часу обчислень, проте інтегральне врахування складності моделі взаємодії ОУ з множиною ОС в ПС приводить до лінійного збільшення складності, тоді $N = (m+1)n$, а ПС є топологічним, має складну структуру і за сутністю може бути ототожнений з простором пошуку;

в) застосування множини небезпечних станів (МНС) при взаємодії ОУ з ОС в ПС, яким притаманні власні динамічні і кінематичні властивості та властивості переміщення, що дозволяє розглядати процес рішення задачі конфлікту як динамічний, а переміщення ОУ можна розуміти як екзогенні прояви у вигляді переміщення внаслідок перебудови переваг, які в свою чергу залежать від того, що діється з ОУ в екзогенному просторі;

г) створення в ПС σ_i кожною парою ОУ та i -м ОС МНС для n ОС інтегрального опису МНС $\Omega = \bigcup_{i=1}^n \sigma_i$ та визначення ПР, як $\Theta = H \cap \Omega$, де Θ - ПР, H - ПС множини точок простору H , що обмежена замкненою границею G $\Theta = H \cap \Omega$, де Θ - ПР,

H - ПС;

д) визначення стратегії рішення конфлікту взаємодії об'єктів в ПС визначається як багатоелементної (рис. 6), де переміщення ОУ здійснюється згідно синтезований стратегії (траєкторії в ПР), а гарантовано оцінена швидкість за напрямком переміщення ОУ обирається в гарантовано оціненому просторі комбінованого управління об'єктом (ПКУО).

Опис системи обмежень простору спостереження топологічного простору Q являє собою n -мірну поверхню, що утворена гранями, які мають як певні обмеження, так і певні

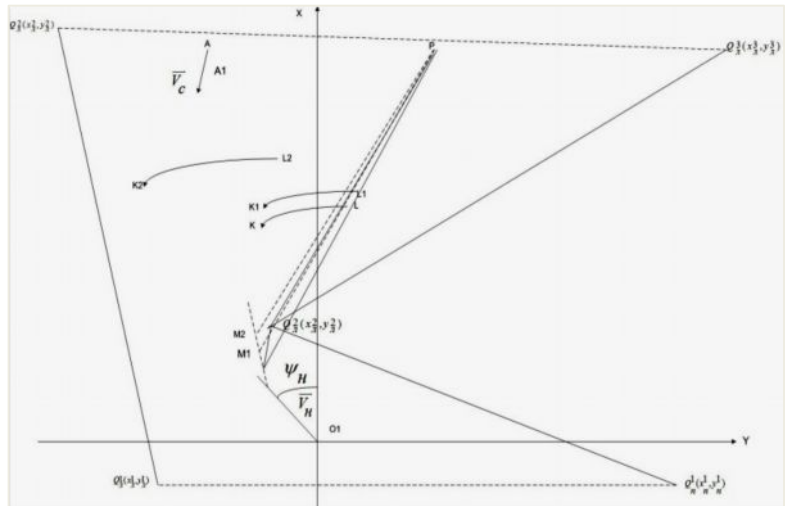


Рис. 6. Простір рішення

а) для ПС Q маємо кількість двовірних відображень $N_{ПС} = C_k^2 = \frac{A_k^2}{P_2} = \frac{k!}{2!(k-2)!}$, де

k – мірність ПС;

б) топологічний опис об'єктів і груп об'єктів простору $\mathcal{Q}$, який залежить від простої або складної «зв'язаності», визначає сукупність топологічних моделей та фігур, властивості яких не змінюються за умов будь-яких деформацій, що здійснюються в цьому просторі без розривів або з'єднань;

в) топологічна модель для простору Q визначається наявністю і зберіганням сукупностей взаємозв'язків, довжина ребер в моделі може не нести інформативного навантаження, а топологічні характеристики реальних об'єктів можуть бути представлені за допомогою графів покриття і суміжності;

г) топологічне векторне представлення даних в просторі Q відрізняється від нетопологічного можливістю отримання вичерпного списку взаємовідносин між пов'язаними геометричним примітивами без зміни координат просторових об'єктів, що зберігаються, а векторно-топологічне представлення є різновидом векторного представлення лінійних і полігональних просторових об'єктів, що описує не лише їх геометрію, але і топологічні відношення між полігонами, дугами і вузлами.

Як результат, це дозволяє сформулювати твердження, що визначають топологічність простору $\mathcal{Q}$, перерізів та відображень образів на поверхні параметрів, які в силу топологічності є площинами.

Сутність теоретико-множинної моделі взаємодії об'єктів в просторі спостереження полягає в такому:

а) за умов замкненості границі ПС ($\Gamma_{cp}(Q)=0$) визначимо модель $M=\bigcup_{i=0}^N M^i$, де

$$M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{np}^i \rangle - \text{частковая модель } i\text{-го ОС, } M^0 = \langle B^0, F^0, \Gamma_{np}^0 \rangle - \text{модель ОУ;}$$

б) часткова модель i -го ОС визначається трійкою $M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{np}^i \rangle$, а саме:

$B^i = (X^i, Y^i, A^i)$ - базис, що визначає потенційні можливості взаємодії i -го ОС та ОУ в просторі Q , де X^i - множини потенційно можливого місця знаходження i -го ОС в просторі Q , які визначаються як множини (області) керованих та напівкерованих станів в просторі параметрів у відповідності з припущенням невизначеності та прогнозом переміщення i -го ОС, Y^i - множина, що визначається характеристиками переміщення i -го ОС в просторі керованих і напівкерованих станів та враховує наявні ресурси управління щодо зміни динамічних та кінематичних характеристик i -го ОС у відповідності з припущенням A^i , яке враховує прогноз, невизначеність, динаміку та небезпечність переміщення i -го ОС щодо ОУ;

$F^i = (f_x^i, f_c^i, d^i)$ - властивості i -го ОС щодо переміщення в просторі Q , де f_x^i - згладжені значення координат для i -го ОС в кожен момент, f_c^i - згладжені значення першої похідної (вектору швидкості зміни координат), $d^i = d_{зад}^i + \Delta d^i$ - припустиме зближення ОУ з i -м ОС ($d_{зад}^i$ - припустиме значення зближення ОУ з i -м ОС, $\Delta d^i = \sqrt{\sum_{j=1}^k (\ddot{x}_j^i)^2 \frac{\Delta t^2}{2}}$ - невизначеність, яка враховує властивості переміщення i -го ОС в k - мірному просторі Q , $\ddot{x}_j^i$ - друга похідна відповідної j -ї координати i -го вектору швидкості f_c^i i -го ОС, Δt - інтервал часу вимірювання);

Γ_{np}^i - граматика та правила утворення співвідношень при взаємодії ОУ з i -м ОС та взаємодії i -го ОС з іншими ОС;

в) часткова модель ОУ трійкою $M^0 = \langle B^0, F^0, \Gamma_{np}^0 \rangle$, а саме:

$B^0 = (X^0, Y^0, A^0)$ - базис для ОУ, де X^0 - множина потенційно можливого знаходження ОУ в просторі Q , Y^0 - множина, що визначається характеристиками переміщення ОУ в просторі керованих і напівкерованих станів за наявних ресурсів управління щодо зміни динамічних та кінематичних характеристик у відповідності з припущенням A^0 , яке враховує прогноз, динаміку та безпечність переміщення ОУ

$F^0 = (f_x^0, f_c^0, d^0)$ - властивості ОУ щодо переміщення в просторі Q , де f_x^0 - згладжені значення координат ОУ в кожен момент спостереження в просторі Q , f_c^0 - згладжені значення першої похідної (вектору швидкості зміни координат ОУ), d^0 - припустиме зближення ОУ з ОС;

Γ_{np}^0 - граматика та правила утворення співвідношень при взаємодії ОУ з простором G_{piu} ;

г) границя ПС $\Gamma_{ep}(Q)$ в загальному випадку є безперервною, кусково-гладкою неопуклою і замкнутою, що не дозволяє використовувати традиційні підходи щодо опису простору обмежень $G_{обм}$ і застосовувати методи опуклого програмування при рішенні конфлікту, а простір $G_{обм}$ має задовольняти вимогам зв'язності та безперервності хоча б впродовж траєкторії керованого переміщення ОУ в просторі Q ;

д) визначимо узагальнені обмеження простору $G_{обм}$ $d = \bigcup_{i=0}^N d^i$, $A = \bigcup_{i=0}^N A^i$,
 $B = \bigcup_{i=0}^N B^i$, $\Gamma_{np} = \bigcup_{i=0}^N \Gamma_{np}^i$ з границею $\Gamma_{zp}(Q)$ та обмеження щодо ОУ
 $F = \bigcup_{i=0}^N F^i$, $\forall f_x^i \subset f_x$, $\forall f_c^i \subset f_c$, $\forall d^i \subset d$;

е) відобразимо співвідношення F^i з врахуванням (A^i, A^0) та базису (B, Γ_{np}) на множину $G_{обм}$. Це породжує простори $G_{обм}^i$, які є неприпустимими для позицій X^0 ОУ та параметрів його переміщення Y^0 , що дозволяє використати принцип невизначеності при дослідженні характеристик, включаючи динамічні, поведінки об'єктів в просторі Q , який може бути декомпонований на класи еквівалентності;

є) введемо поняття мови, що є нескінченною множиною й задається граматикою Γ_{np}^i , що застосовується для формального опису процесів, які пов'язані з вирішенням задачі пошуку і переслідування в просторі Q ;

ж) оцінимо за співвідношенням $\Delta x_i^z = \frac{p}{2m\Delta \dot{x}_i^z}$ невизначеність переміщення ОС для різних за фізичною сутністю ПС (фізичний, віртуальний, тощо), де $\dot{x}_i^z$ - перша похідна координати z i -го вектору швидкості f_c^i i -го ОС, x_i^z - відповідна координата z вектору f_x^i i -го ОС, m - маса i -го ОС, p - коефіцієнт, який визначається сутністю ПС (в квантовій механіці за ознакою невизначеності Гейзенберга $p = \frac{\hbar}{2}$, де $\hbar$ - стала Планка, а для кібернетичного простору - з врахуванням того, що в теорії систем та синергетиці інформація за своєю сутністю має енергетичні та польові властивості і не має маси, значення Δx_i^z співпадає за сутністю з поняттям ентропії);

з) вирішимо задачу синтезу стратегії управління переміщенням ОУ в евклідовому, банаховому або гільбертовому просторі за умов виконання відповідних перетворень та з врахуванням відображення і невизначеності множини $G_{рши} = G_{обм} \bigcap_{i=0}^N G_{обм}^i$ просторів $G_{обм}^i = W(X^0, Y^0, f_c^0, f_c^i, X^i, Y^i, A^0)$, які в загальному випадку не є опуклими та безперервними але є топологічними лінійними;

и) визначимо інформаційну множину простору комбінованого управління об'єктом (ПКУО) $S = \bigcup_{N, \Psi_{npun}} S^i(X^0, Y^0, f_c^0, f_c^i, X^i, Y^i, d^i, A^i, \Delta t)$, $i = \overline{0, N}$, де S^i - множина припустимих значень параметрів, які визначають характеристики переміщення за напрямком $\psi_j \in \Psi_{npun}$, який належить множині припустимих напрямків переміщення ОУ за умови дотримання значення d^i , позицію i -го ОС в просторі Q при його переміщенні, Δt - інтервал часу вимірювань та розрахунків;

і) вирішимо задачу синтезу стратегій управління ОУ при рішенні конфлікту за

мінімально-переборною процедурою розробленого методу інтегрального усікання варіантів, згідно адитивного критерію вибору (оптимальності) $\Phi = \sum_{i=1}^k C_i \lambda_i$ при

$$\lambda_{u_i} = \frac{\Delta u_i}{\sup |u_i|}, \forall \lambda_i \in \lambda \text{ та } \sum_{i=1}^k C_i = 1, \text{ де } C_i - \text{коефіцієнт, що визначається окремо для}$$

кожного типу конфлікту, λ_i визначає «витрати на управління» згідно гарантованій оцінці витрат (ресурсів управління) параметром або функцією управління u_i для i -го елемента траєкторії переміщення ОУ в просторі G_{piu} ;

к) сформулюємо задачу синтезу управління ОУ, як задачу рішення конфлікту взаємодії об'єктів $K = \langle M, A, S, \Gamma_{np}, G_{piu}, \mu \rangle$ в просторі G_{piu} ;

л) визначимо процедуру синтезу стратегій управління ОУ μ згідно принципу оптимальності χ , що реалізовує вимоги критерію Φ , як
$$\begin{cases} K = \langle M, A, S, \Gamma_{np}, G_{piu}, \mu \rangle, \\ \lambda K = \mu \end{cases}$$

а оптимальну стратегію рішення конфлікту μ^* з врахуванням правила зупинки $\Gamma_{зуп}$ визначимо в вигляді $\mu^* = \inf_{\chi, \Gamma_{зуп}} K$.

Сутність семіотичної моделі взаємодії об'єктів в просторі спостереження полягає в такому:

а) семіотична модель $\mathfrak{Z}(\cdot)$ інтелектуального перетворювача описується четвіркою $\mathfrak{Z} = \langle M, \chi_B, \chi_F, \chi_G, \chi_Q \rangle$, де $\chi_B, \chi_F, \chi_G, \chi_Q$ відповідно є правилами зміни B, F, G, Q для формальної моделі $M = \langle B, F, \Gamma_{np} \rangle$, якою є ТММ;

б) формальна модель $M = \bigcup_{i=0}^N M^i$, де N - загальна кількість ОС в ПР, множина нетермінальних позицій об'єктів $F = \bigcup_{i=0}^N F^i$, граматики і правила утворення співвідношень при взаємодії об'єктів в ПС $\Gamma_{np} = \bigcup_{i=0}^N \Gamma_{np}^i$ та обмеження простору Q визначають правила зміни $\chi_B, \chi_F, \chi_G, \chi_Q$;

в) для моделі M^i визначається множина Γ_{np}^i - граматики та правила утворення співвідношень при взаємодії ОУ та i -го ОС;

г) граматики загального виду має опис $\Gamma_{np} = (F, T, P, C \subset Q)$, де $F = \bigcup_{i=0}^N F^i$ - множина нетермінальних позицій, $T = \bigcup_{i=0}^N T^i$ - множина термінальних (кінцевих) позицій ($T \subset G_{piu}^*$), для якої має виконуватись співвідношення, $P = \bigcup_{i=0}^N P^i$ - кінцева множина правил (продукцій), яка вміщує хоча б одну нетермінальну позицію, $C = \bigcup_{i=0}^N C^i$ - множина

початкових нетермінальних позицій об'єктів.

Використання семіотичної моделі $\mathfrak{Z}(\cdot)$ на відміну від формальних моделей забезпечує можливість змінювати усі елементи формальної моделі M в процесі ситуаційного управління об'єктом, що дозволяє будувати моделі, які відповідають функціонуванню ТС або ТЕС. Так, для моделі M^0 множина Γ_{np}^0 (граматика та правила утворення співвідношень при взаємодії ОУ з простором G_{piu}) є механізмом задавання мови формального опису процесів, що пов'язані з вирішенням задачі спостереження в просторі Q . Для моделі M^i формальна мова є множиною ланцюжків кінцевого алфавіту $F^i(f_x^i, f_c^i, d^i)$, де (f_x^i, f_c^i, d^i) - сукупністю об'єктів, що називаються символами, які можна відтворювати в необмеженій кількості екземплярів. Для i -го ОС вона задає формальну граматику мови $\Gamma_{np}^i = (F^i, T^i, P^i, C^i \subset Q)$, а саме правила P^i , за якими з символів мови будуються їх послідовності, що належать визначеній мові, де F^i - множина нетермінальних позицій, T^i - множина термінальних (кінцевих) позицій, що має належати простору Q ($T^i \cap Q \neq \emptyset$), P^i - кінцева множина правил (продукцій), яка вміщує хоча б одну нетермінальну позицію, C^i - початкова нетермінальна позиція i -го ОС. В моделі M^0 визначено регулярну граматику $\Gamma_{np}^0 = (F^0, T^0, P^0, C^0 \subset Q)$, де F^0 - множина нетермінальних позицій, T^0 - множина термінальних (кінцевих) позицій, P^0 - кінцева множина правил (продукцій), яка вміщує хоча б одну нетермінальну позицію, C^0 - початкова нетермінальна позиція ОУ.

Невід'ємною частиною семантичної моделі є мова і контекстно-вільна граматика (КВ-граматика) опису подій в СІУ для автомату з магазинною пам'яттю (МП-автомату) аналізу повідомлень, визначення яких в роботі здійснюється за такими правилами:

а) множини T і P породжують мову семіотичної системи $L(\Gamma_{np})$, якою може бути будь-яка виразна мова, елементами якої є лексеми $L(\Gamma_{np})$ та лексичні позначення даних про об'єкти в просторі Q ;

б) синтаксичний аналізатор (СА) виконує перевірку правильності конструкцій похідного опису та перетворення результатів функціонування лексичного аналізатора (ЛА) у вигляді, який є прийнятним для семантичного аналізатора (СМА) при подальшій семантичній (змістовній) обробці;

в) для мови $L(\Gamma_{np})$ функції СА не визначають приналежність ланцюжка заданій мові; синтаксичні конструкції є похідними для подальшої генерації ланцюжків рішень;

г) при створенні СА маємо конкретну граматику Γ_{np} похідної мови $L(\Gamma_{np})$, що дозволяє побудувати дерево зв'язків та відношень лексичних структур за результатами ЛА;

д) КВ-граматика для СА задовольняє вимогам перетворення та еквівалентності;

є) при створенні СА, виходячи з складності синтезованого за допомогою мови $L(\Gamma_{np})$ тексту опису ситуації взаємодії ОУ з ОС в просторі $G_{pш}$, обирається алгоритм правобічного аналізу тексту;

ж) граматики Γ_{np} не потребує додаткових перетворень і відноситься до класу КВ-грамматик операторного передування, для яких існує відомий алгоритм лінійного розпізнавача, що істотно спрощує створення СА.

Сутність методу рішення конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей, як NP-повної перебірної задачі динамічної дискретної оптимізації полягає в такому:

а) за правилами P^i , що є продукцією (правилами виведення - елементарні операції), утворюються так звані правильні ланцюжки, які в термінах мови рішення є алгоритмами для цифрового автомату СІУ ОУ;

б) переміщення ОУ в базисі B^0 задає n ланцюжків $U_{jk}^0, k = \overline{1, n}$;

в) координати точки $X_{jk}^0 \in Q$, в яку переміщується ОУ, значення характеристик переміщення Y_{jk}^0 визначаються динамічними та фізичними обмеженнями щодо можливих управлінь ОУ $Y_{jk}^0 \subset Y_{j0}^0, f_{c_{jk}}^0 \subset Y_j^0, f_{x_{jk}}^0 \subset X_j^0$ для кожного j -го ланцюжка k -го рішення. Стратегія переміщення ОУ в просторі Q є конкатенацією ланцюжків переміщення. Послідовність правил P^0 в процесі породження ланцюжка U_{jk}^0 є його виводом $U_j^0 = \bigcup_{k=1}^n U_{jk}^0$;

г) критерій відбору при розрахунку і конкатенації ланцюжків U_j^0 не може входити до правил P^0 , які є словами мови L класу P (класу предикатів) і входять в граматику загального виду Γ_{np}^0 ;

д) ланцюжки U_{jk}^0 орієнтовані зліва направо. Довжиною є кількість базових елементів множини $B^0 = \{b_1^0, \dots, b_r^0\}$, де b_l^0 - l -та підмножина алфавіту, яка не є пустою. При безперервному управлінні ланцюжок визначає управління $R_{jk}^0 = U_{jk}^0 \circ U_{j,k+1}^0$, де $\circ$ - операція конкатенації символів (базової складової мови). Для операції конкатенації (об'єднання ланцюжків) будуть справедливими властивості замкненості $\circ : (U_j^0)^* \times (U_j^0)^* \rightarrow (U_j^0)^*$ та асоціативності $[(U_{jk}^0 \circ U_{j,k+1}^0) \circ V_j^0 = U_{jk}^0 \circ (U_{j,k+1}^0 \circ V_j^0)] \forall [U_{jk}^0 \subset (U_j^0), U_{j,k+1}^0 \subset (U_j^0), R_{jk}^0 \subset (U_j^0)]$, де $(U_j^0)^*$ - множина усіх можливих ланцюжків, складених з кінцевої множини базових елементів U_{jk}^0 , які включають пустий ланцюжок ε .

Практична цінність отриманих результатів обумовлюється можливістю створення СІУ, яка має особливості, що притаманні системам ситуаційного управління при рішенні конфлікту взаємодії ОУ з варіативною множиною ОС в умовах обмежень і невизначеностей.

У **третьому розділі**, урахування особливостей формування простору рішень конфлікту взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження

в умовах обмежень та невизначеностей реалізовано за рахунок розроблення:

- вирішуючих правил і формальних методів визначення інформаційних множин доповнення ПР та гарантованого управління ОУ;
- методу формування функціонального віртуального ПР для варіативної множини ОС.

Формування низки вирішуючих правил щодо визначення інформаційної множини простору комбінованого управління об'єктом (ПКУО) в роботі здійснюється за таким чином:

а) при визначенні ПКУО використовується зв'язана система координат, центр якої розміщено в ОУ, розрахунок та побудова ПКУО має місце щодо об'єктів, множина положень або станів яких утворює деяку кінцеву або нескінчену область на площині, в перерізі або в просторі Q , усі об'єкти розглядаються як точкові;

б) ПКУО описується, як $\aleph = \bigcup_{N, \Psi_{прин}} V_{\psi_j}^i, \forall \psi_j \in \Psi_{прин}, i = \overline{1, N}, \forall V_{\psi_j}^i \subset V_e$, де $\aleph$ -

ПКУО; $\Psi_{прин}$ - множина напрямків переміщення; $V_{\psi_j}^i$ - множина припустимих швидкостей переміщення для i -го ОС за напрямком $\psi_j \in \Psi_{прин}$, що визначається як лінійка швидкостей (ЛШ); N - кількість ОС в просторі Q на час спостереження; V_e - множина припустимих швидкостей переміщення ОУ в просторі Q , $V_{\psi_j}^i$ - інформаційні множини ЛШ для i -го ОС, що визначається за правилом у вигляді предикатів, яке отримано з геометричної інтерпретації стану зближення ОУ з i -м ОС для випадку ухилення або втікання.

Вирішуюче правило описує всі можливі стани взаємодії ОУ з ОС при рішенні конфлікту і поширюється на динамічні, кінематичні і віртуальні (інформаційні) об'єкти в фізичному та інформаційному просторі і є просторовим відображенням фазової траєкторії управління ОУ.

Метод формування функціонального віртуального ПР для варіативної множини ОС включає в себе процедури формального опису: простору рішень, інформаційної множини небезпечних станів простору рішення, ознак та правил визначення приналежності інформаційних множин простору рішень, а також формування простору гарантованого управління динамічним об'єктом.

Формальний опис простору рішень згідно геометричному уявленню взаємодії ОУ з ОС в багатомірному топологічному просторі Q дозволяє сформувати формальне уявлення інформаційної множини секторів небезпечних напрямків переміщення (СННП) в формі правил, які визначають інтервал напрямків та кутових швидкостей при переміщенні ОУ в ПР, його перерізах площинами параметрів або проекціями на координатні площини.

Формальний опис інформаційної множини небезпечних станів простору рішення (ІМНСПР) в роботі отримано виходячи з такого:

а) ІМНСПР є властивістю взаємодії ОУ з i -м ОС в перерізі простору Q топологічною площиною параметрів і відображає множину, що визначає геометричне місце точок в просторі $G_{рши}$, в яких можливе зближення ОУ з i -м ОС на

відстань не більшу d^i , і формально може бути визначена як $W_i = \bigcup_{k=1}^K W_i^k$, де $K = \overline{0,2}$ -

кількість ІМНСПР, що визначається взаємними напрямками переміщення ОУ і i -го

ОС, швидкостями та відстанями припустимого зближення, $W_i^k = W_i^k(\overline{w_i^k}, r_i^k, \varphi_{1i}^k, \varphi_{2i}^k, \Pi_i^k)$ - множина k -го ІМНСПР для i -го ОС; $\overline{w_i^k}$ - вектор в просторі Q , який з'єднує кінець і початок для k -го ІМНСПР для i -го ОС; r_i^k - дистанція до середини $\overline{w_i^k}$; φ_{1i}^k - напрямок (кут) початкової точки k -го ІМНСПР для i -го ОС при відліку від осі ординат проти часової стрілки; φ_{2i}^k - напрямок (кут) кінцевої точки k -го ІМНСПР для i -го ОС при відліку від осі ординат проти часової стрілки; Π_i^k - тип "окрасу" k -го ІМНСПР для i -го ОС ("початок-кінець", "кінець-початок", "початок-початок", "кінець-кінець", "байдуже");

б) простір рішень $G_{piu}^* = G_{piu} \setminus \bigcup_{i=1}^N W_i$ утворюється з врахуванням геометричного місця точок можливого конфлікту взаємодії ОУ з N ОС в просторі Q .

Ознаки та правила визначення приналежності інформаційних множин простору рішень в роботі формуються виходячи з такого:

а) в) предикат приналежності ІМНСПР для i -го ОС простору G_{piu}

$$\begin{cases} f_{w_i} = 1 \forall w_i \cap G_{piu} = \emptyset \\ f_{w_i} = 0 \forall w_i \cap G_{piu} \neq \emptyset \end{cases}$$

б) ознака приналежності елемента ланцюжка траєкторії простору рішень

$$\begin{cases} f_{\mu} = 1 \forall \mu_j \subset G_{piu} \\ f_{\mu} = 0 \forall \mu_j \not\subset G_{piu} \\ \mu_j = \bigcup_{i=1}^{n_j} \mu_j^i, j = \overline{1, m} \end{cases}$$

де n_j - кількість елементів лінії траєкторії; m - кількість напрямків зміни лінії траєкторії; f_{μ} - ознака приналежності i -го елемента ланцюжка траєкторії переміщення ОУ j -ї стратегій синтезованих рішень (траєкторій переміщення ОУ) простору G_{piu} ;

в) межа ПР визначається з правила

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_{zp}(Q) = \Gamma_l \bigcup_{\Pi_{zam}} \Gamma_n, \forall \Gamma_l^i \subset \Gamma_l, \forall \Gamma_n^j \subset \Gamma_n, i = \overline{1, N_l}, j = \overline{1, N_n} \\ \Gamma_l = \bigcup_{i=1}^{N_l} \Gamma_l^i = \bigcup_{i=1}^{N_l} (\overline{L_i L_{i+1}}) \\ \Gamma_n = \bigcup_{j=1}^{N_n} \Gamma_n^j = \bigcup_{j=1}^{N_n} (\overline{R_j R_{j+1}}) \end{array} \right.,$$

де N_l - кількість вершин лінії лівої межі простору Q або його перетину площиною; N_n - кількість вершин лінії правої межі простору Q або його перетину площиною; Γ_l^i - i -й елемент лінії лівої межі простору Q ; Γ_n^j - j -й елемент лінії правої межі простору Q ; L_i - i -та вершина лінії Γ_l ; R_j - j -та вершина лінії Γ_n ;

г) правило замикання для границі лінії обмежень простору рішень визначається як "з'єднання точок початку та точок кінців ламаної лінії обмежень простору Q або

його перерізу площиною за напрямом переміщення ОУ”;

д) ознака приналежності синтезованої траєкторії простору рішень (рис. 7)

$$\begin{cases} r_l = 1, \forall r_l^i = \overrightarrow{MP} \times \overrightarrow{ML}_1 \geq 0, i = \overline{1, N_l} \\ r_n = 1, \forall r_n^j = \overrightarrow{MR}_1 \times \overrightarrow{MP} \geq 0, j = \overline{1, N_n} \\ r_l = 0, \forall r_l^i = \overrightarrow{MP} \times \overrightarrow{ML}_1 < 0, i = \overline{1, N_l} \\ r_n = 0, \forall r_n^j = \overrightarrow{MR}_1 \times \overrightarrow{MP} < 0, j = \overline{1, N_n} \end{cases} \Rightarrow f_\mu = \begin{cases} 1, \Pi_\mu \geq 0 \\ 0, \Pi_\mu < 0 \end{cases} .$$

$$\Pi_\mu = r_l \times r_n$$

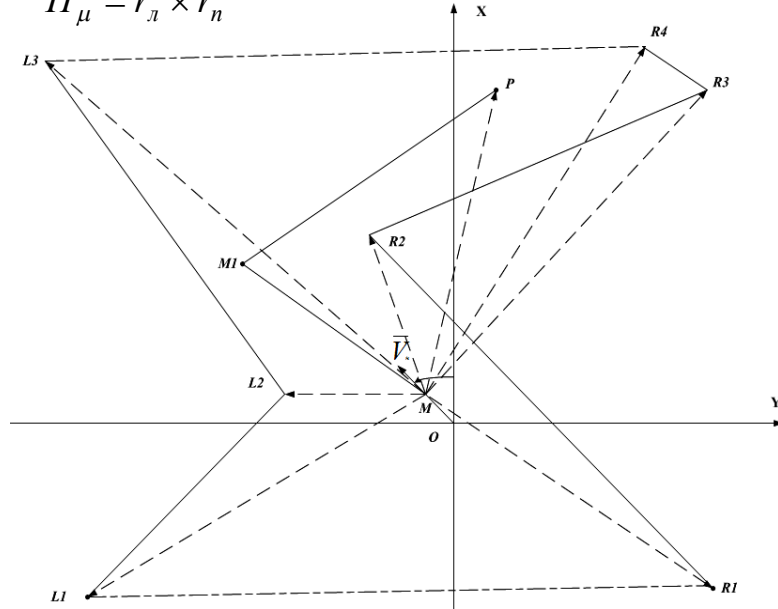


Рис. 7. Визначення способу формування ознаки приналежності траєкторії простору Q

Простір гарантованого управління динамічним об'єктом в роботі формується за такими правилами:

а) за методом розрахунку та побудови множин гарантованого управління ДО в умовах обмежень і забезпечення якості процесу управління ОУ, виходячи з властивостей СУ та СІУ і враховуючи існуючі внутрішні зв'язки фазових змінних, які не є істотними при розгляді динаміки зміни окремих параметрів просторового руху ДО, розроблено метод розрахунку та побудови множин гарантованої керованості ДО за умови обмежень та забезпечення якості процесу управління ОУ;

б) системою звичайних диференціальних та алгебраїчних рівнянь описано динаміку просторового руху ДО та керуючі впливи на нього, що визначаються вимогами міцності об'єкта та складністю управління його просторовим рухом, за рішенням яких визначено множину скінченномірних векторів стану $X(t)$ та управляючих впливів $U(t)$ на ОУ $\begin{cases} X(t) = \{x_1, \dots, x_n, t\} \\ U(t) = \{u_1, \dots, u_{n-r}, t\} \end{cases}$, де n – кількість змінних, що описують поточний стан ОУ, r – кількість впливів управління на ОУ;

в) за методом нелінійної інтегральної інваріантності для похідної системи диференціальних рівнянь відносно множини Φ_u гарантованого управління ДО

$\dot{X} = \Phi_u(X, t, F(t))$, де $\dot{X} = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dots \\ \dot{x}_n \end{pmatrix}$, $X = (x_1, \dots, x_n)$, $F(t) = (f_1(t), \dots, f_n(t))$ - вектор зовнішніх

збурень, $\Phi_u = (\Phi_u^1, \dots, \Phi_u^n)$ - здійснено перетворення з метою повного виконання умов інваріантності, що дозволяє отримати систему рівнянь, яка враховує $\mathcal{E}$ -окіл припустимих значень рішення системи і визначено множину гарантованого управління ДО $\bar{\Phi}_u = (\bar{\Phi}_u^1, \dots, \bar{\Phi}_u^n)$, для яких вектор X не є інваріантним до вектора зовнішніх збурень $F(t)$, а компоненти вектора X є обмеженими функціями, для оцінювання рішення системи в $\mathcal{E}$ -околі припустимих значень рішення, згідно із що дозволяє визначити вектор управляючих впливів $U(t)$, кожен елемент якого задовольняє умові $u_i(t) \geq |x_i^a - x_i| \forall u_i(t) \in U(t)$, де x_i^a - рішення системи, x_i - справжнє значення рішення системи, що визначає множини можливих значень сукупності управляючих впливів $u_i \in [\sup(u_i(t)), \inf(u_i(t))]$ та область X_i потоку фазових параметрів $x_i(t)$;

г) за параметрично заданою функцією $\begin{cases} x_i = u_i(x_1, \dots, x_n, t) \\ x_j = u_j(x_1, \dots, x_n, t) \end{cases}$, що обумовлює граничний цикл

(атрактор) перерізу фазового простору $x_i = x_i(x_j)$ визначено його границю в перерізі ПР площиною параметрів або проекції на координатну площину параметрів;

д) за похідними параметрами x_i та x_j , що обумовлюють лінії обмежень $u_i^{\max}$, $u_i^{\min}$, $u_j^{\max}$ та $u_j^{\min}$, які визначають область c_i^j керованості ДО у площинах змінних в просторі

Q . Здійснивши зворотне перетворення області c_i^j з площини змінних $\frac{dx_i}{dt}$ і $\frac{dx_j}{dt}$ у площину перерізу простору фізичних параметрів x_i та x_j , отримаємо переріз простору параметрів, які відображають переріз простору гарантованого управління ДО.

Практична цінність отриманих результатів обумовлюється можливістю формування простору параметрів гарантованого управління ДО при переміщенні траєкторією рішення конфлікту в ПР за умов забезпечення цілісного ціледосягаючого управління.

У **четвертому розділі**, технологію синтезу і вибору стратегій оптимального управління складними ТС та ТЕС при розв'язанні конфлікту їх взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень і невизначеностей удосконалено за рахунок розробленого методу синтезу та вибору стратегій (траєкторій) переміщення та гарантованого управління ОУ в ПР (методу інтегрального усікання варіантів і P -алгоритму синтезу рішень та ланцюжків гарантованого управління ОУ в ПР). Сутність методу полягає:

а) у визначенні стратегії рішення конфлікту, що є траєкторіями переміщення центра мас ОУ та ланцюжків гарантовано оціненого управління в просторі G_{piu}^* , здійснюється

згідно функції ціни $J = \sum k_i \times J_i, \forall J_i = \sum_{j=1}^m \bar{k}_j \times \|(\xi_j)^2\|$ з урахуванням безперервності і забезпечення гарантованого управління об'єктом, де k_i - коефіцієнт, який враховує вагу i -го квадратичного критерію, J_i - частковий квадратичний критерій оцінки елементів стратегії (ланцюжка U_i^0 управління ОУ) траєкторії, $\bar{k}_j$ - коефіцієнт, що враховує осереднені значення динамічних характеристик ОУ, $\|(\xi_o)^2\|$ - нормоване значення зміни параметрів стратегії управління ОУ U_{ji}^0 для j -го елемента i -ї синтезованої траєкторії при переході з одного елемента лінії переміщення на інший, m - кількість елементів в ланцюжку управління;

б) в проведенні аналізу розривності простору G_{piu}^* при взаємодії ОУ з i -м ОС визначається ознакою $\Theta_R = 1, \forall \Theta_R^i = 1 \vee \Theta_R = 0, \exists \Theta_R^i = 0, i = \overline{1, N}, \Theta_R^i = 0, \forall |\vec{V}_n| \notin [0, V_e^i], \Theta_R^i = 1, \forall |\vec{V}_n| \in [0, V_e^i]$, де N - кількість ОС в просторі Q , $[0, V_e^i]$ - множина припустимих швидкостей переміщення i -го ОС, $|\vec{V}_n|$ - модуль швидкості ОУ, $V_e^i = [0, V_{\max}^i]$ - модуль швидкості i -го ОС, $V_{\max}^i$ - модуль найбільшої припустима швидкість переміщення i -го ОС в просторі Q . При $\Theta_R = 1$ простір G_{piu}^* є нерозривним;

в) у визначенні правила зупинки, що відображає принцип оптимальності Беллмана й полягає в досягненні сталості значення критерію оптимальності при здійсненні процесу перебору

$\Gamma_{zyn} = 0, \forall \frac{J_{j-2} + J_{j-1} + J_j}{3J_j} > \varepsilon \vee \Gamma_{zyn} = 1, \forall \frac{J_{j-2} + J_{j-1} + J_j}{3J_j} \leq \varepsilon$, де j - номер шагу процесу перебору; J_j - значення критерію оптимальності для шагу перебору з номером j ; ε - припустиме відносне відхилення значення функції ціни;

г) в проведенні аналізу значення функціоналу ціни для кожної синтезованої траєкторії переміщення ОУ за умови наявності стратегії управління, яка може бути реалізована, і дозволяє вирішити задачу неопуклого програмування та знайти оптимальне рішення $\mu^* = \arg \min_{\mu} J$.

Алгоритм рішення конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів вміщує наступні кроки:

Крок 1. Визначається ознака приналежності цільової точки простору рішень.

Крок 2. Визначається напрямок переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.

Крок 3. Початкова точка траєкторії визначається як перетворення простору, яке обумовлене переміщенням ОУ за час τ з початкової точки в точку можливої зміни напрямку переміщення.

Крок 4. Визначається напрямок переміщення ОУ з точки зміни напрямку в кінцеву точку та визначається кут зміни напрямку переміщення ОУ в кінцеву точку.

Крок 5. Визначається ознака можливості переміщення ОУ в кінцеву точку для перерахованих характеристик простору рішень з врахуванням ІМНСПР.

Крок 6. Визначається ознака можливості вільного переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.

Крок 7. При неможливості вільного переміщення в кінцеву точку траєкторії застосовується рекурсія вибору рішень з врахуванням розрахованих значень СННП і ІМНСПР по кожному ОС в просторі рішень. Напрямок переміщення визначається за мінімально-переборною процедурою в просторі з границі ІМНСПР, яка зміщується в напрямку забезпечення можливості безконфліктного переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.

Крок 8. Визначається ознака перетину оцінюваного елементу траєкторії переміщення ОУ в кінцеву точку межею простору рішень.

Крок 9. При перетині оцінюваного елементу траєкторії переміщення ОУ в кінцеву точку з межею простору рішень для зменшення числа переборів і скорочення часу синтезу стратегії рішення визначають елемент лінії границі простору рішень, який є найближчим до точки переходу на наступний елемент траєкторії. За визначеним елементу лінії границі простору рішень будується образ СННП з характеристичним вектором.

Крок 10. Визначається стратегія рішення у вигляді обходу СННП.

Крок 11. Відповідно інформаційного образу СННП, аналізується можливість переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.

Крок 12. Для обраного елемента траєкторії обчислюється інформаційний образ ПКУО для синтезу ланцюжка гарантованого управління ОУ.

Крок 13. Визначається ознака розривності простору рішень. За ознакою розривності простору рішень визначається інший напрямок переміщення з врахуванням інформаційного образу СННП.

Крок 14. Здійснюється рекурсія розрахунку елементу траєкторії переміщення до закінчення діапазону напрямків чи досягнення рішення з урахуванням правила зупинки.

Розроблений метод інтегрального усікання варіантів і P -алгоритм синтезу рішень та ланцюжків гарантованого управління ОУ в ПР враховує релевантні фактори, які не були враховані в математичній моделі конфлікту взаємодії об'єктів в просторі $G_{p_{iij}}$ та дозволяє зменшити множину припустимих альтернатив рішень.

Практична цінність отриманих результатів обумовлюється можливістю формування рішення конфлікту за принципами ситуаційного управління, що притаманні системам штучного інтелекту, і дозволяє: визначати оптимальну траєкторію переміщення ОУ в ПР за умов оптимального гарантованого управління об'єктом; забезпечувати P -час рішення конфлікту.

У п'ятому розділі розглянуто питання перспективи застосування системи інтелектуального управління при рішенні конфлікту взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження за умовах обмежень та невизначеностей та наведено результати імітаційних експериментів щодо:

- удосконалення інформаційних технологій автоматизації процесів інтелектуального управління рішенням конфлікту на імітаційних моделях і гіпотетичних прикладах рішень;

- дослідження властивостей технологічних рішень за методологією оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту.

За напрямом удосконалення інформаційних технологій автоматизації процесів інтелектуального управління рішенням конфлікту в роботі:

1. Отримано інформаційну множину простору комбінованого управління об'єктом та параметри, що визначені моделлю M взаємодії об'єктів в ПР, граматикою G_{pr} , правилами P , алфавітом R^0 , простором G_{prih} та метою переміщення ОУ, які є похідними даними для розрахунку ПКУО.

Відображення похідних даних імітаційної моделі рішення конфлікту наведено на рис. 8.

Відображення інформаційної множини ПКУО, обчислення якої здійснюється згідно вирішуючих правил, наведено на рис.9.

2. Проведено синтез простору рішень G_{prih} й з метою спрощення його представлення, як багатомірного топологічного простору та його перерізів площинами параметрів, визначено формальні описи множин та ознак приналежності точки простору, елемента траєкторій простору, СННП, ІМНСПР, простору гарантованого управління ДО, ПКУО, збурень.

За результатами синтезу ПР зроблено такі висновки:

а) при формальному описі простору G_{prih} похідною є інформація щодо границі $G_{pr}(Q)$ простору Q , параметрів переміщення ОУ та довільного ОС у відповідності до моделі M , а параметри переміщення ОС є похідними для синтезу стратегій і вибору ланцюжків рішення щодо запобігання та вирішення конфлікту;

б) якщо термінальна

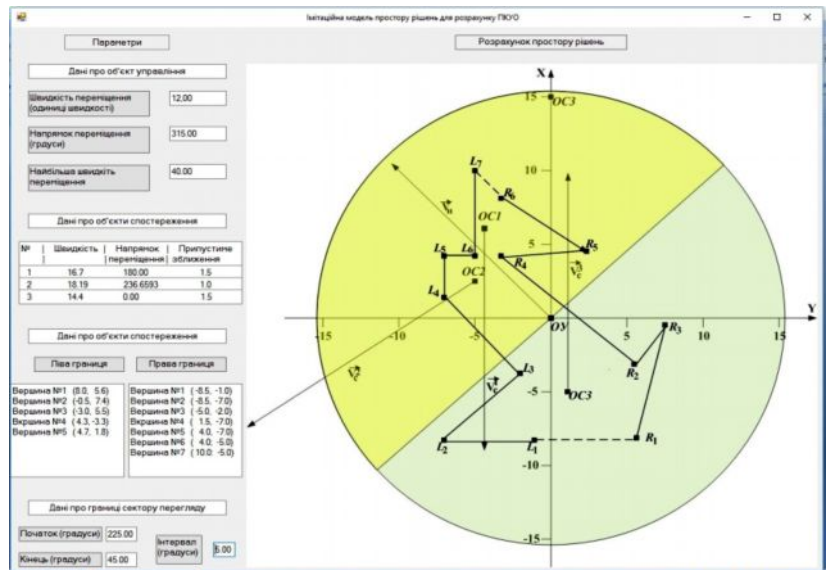


Рис. 8. Відображення похідних даних

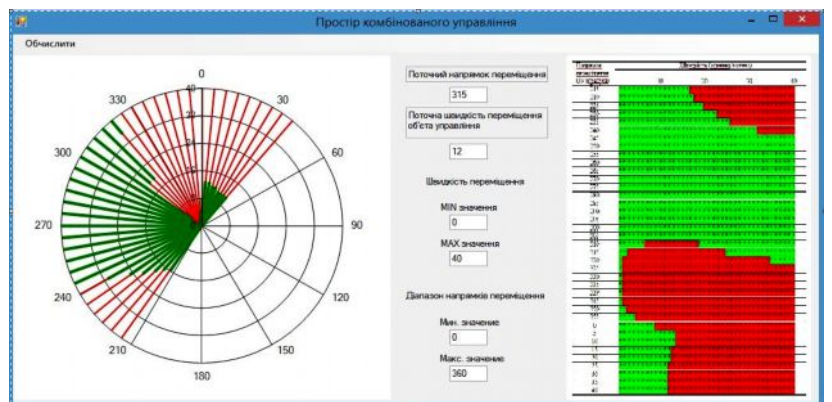


Рис. 9. Відображення ПКУО

множина кінцевих точок траєкторії переміщення ОУ в просторі G_{rii} не належить цьому простору ($T \notin G_{rii}$), доповнення границі простору $G_{pr}(Q)$ здійснюється шляхом додавання додаткових двох точок до обмежень простору в напрямку точки, яка знаходиться поза межами простору (рис. 10), що не порушує граматику загального виду G_{np} ;

в) мова семіотичної системи $L(G_{np})$ дозволяє побудувати дерево зв'язків та відношень лексичних структур опису простору G_{rii}^* та задовольняє вимогам перетворення та еквівалентності, що відображає детерміноване і однозначне перетворення похідної інформації при синтезі ланцюжків управління щодо рішення конфлікту, що дозволяє описати простір G_{rii}^* (рис. 11) шляхом автоматного відображення S^0 на множину простору G_{rii} ;

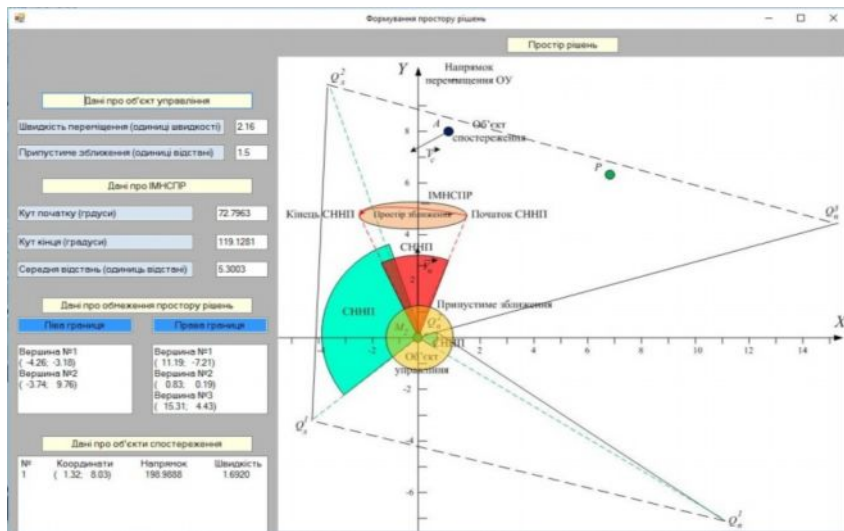


Рис. 11. Розрахунок простору рішень

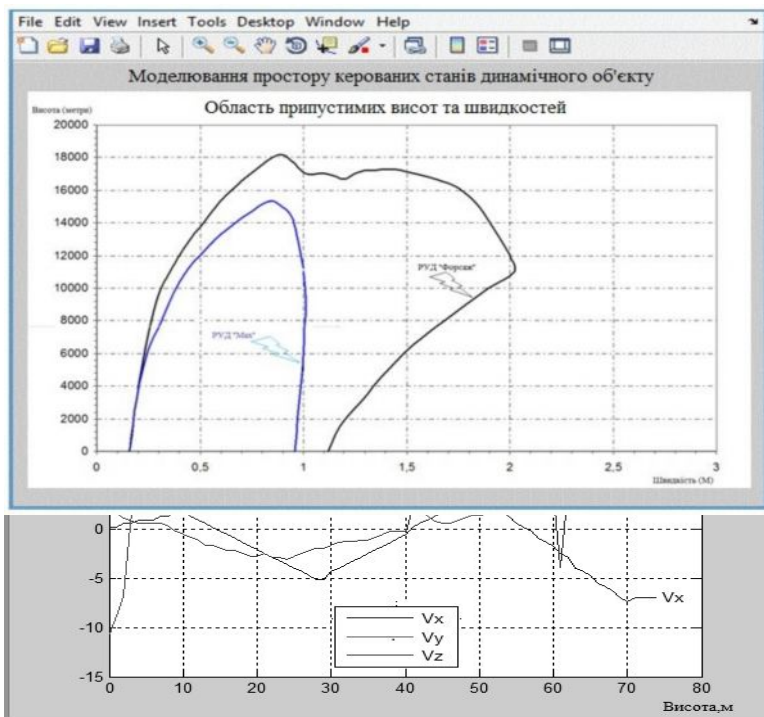
г) похідні дані для розрахунку параметрів простору G_{rii}^* визначаються описом стану взаємодії ОУ з ОС що забезпечується використанням мови семіотичної системи $L(G_{np})$, яка визначена граматику загального виду G_{np} .

3. Проведено синтез простору гарантованого управління динамічного об'єкту що дозволило зробити такі висновки:

а) динамічний образ простору керованих та напівкерованих станів нелінійного ОУ в просторі Q , його перерізах п 29 ами параметрів та проекціях на координатні площини в загальному випадку представляє геометричне місце усіх оптимальних траєкторій, що побудовані у відповідному фазовому просторі;

б) за умови безперервного управління динамічний образ простору керованих та напівкерованих станів може розглядатись як простір гарантовано оціненого управління ДО.

Для визначення границі областей гарантованого управління ДО простору керованих і напівкерованих станів нелінійного ОУ в роботі відповідні розрахунки проведено на прикладі



літального апарату. Отримані результати обчислення фазової траєкторії параметрів (рис. 12) визначають гарантовано керований віртуальний простір в перерізі площиною параметрів кутової швидкості тангажа ω_x та кута атаки α . Параметром управління обрано відхилення керма висоти δ_δ .

4. Досліджено імітаційну модель збурень динамічного об'єкту управління й зроблено висновок про те, що для аналізу і синтезу результатів експериментів з моделями реальних ДО (малих та безпілотних літальних апаратів) доцільно використовувати імітаційну модель збурень середовища функціонування ОУ - турбулентності приземного шару атмосфери (рис. 13) у вигляді тримірного анізотропного поля швидкостей в класі поліномів шостого ступеня в канонічному вигляді для обчислення значень математичного очікування та дисперсії абсолютних значень поривів вітру.

5. Досліджено імітаційну модель опису та аналізу стану взаємодії об'єкту управління з середовищем простору спостереження, що дозволило за похідними

даними (рис. 14) відобразити простір G_{pih} та синтезувати з використанням запропонованої мови семіотичний опис повідомлення СІУ щодо поточної ситуації взаємодії ОУ з ОС в умовах обмежень та невизначеності у вигляді повідомлень "if ([A:(1); B(9.7,-5.6); H(2.0); D(-10.3,4.8)] and [A:(2); B(11.7,-3.7); H(2.0); D(-15.0,0.1)] and [A:(3); B(5.9,-5.9); H(2.0); D(-9.9,9.9)]) else [A:(0); D(8.5,-8.5)] then [B:(13.0,-6.0)] &".

Синтезований опис поточної ситуації взаємодії ОУ з ОС формується згідно правила формування лексем за формою Бекуса-Наура та прийнятих лексичних позначень даних про об'єкти, аналізується і обробляється ПП СІУ шляхом здійснення семіотичного аналізу.

Рис. 13. Моделювання атмосферної

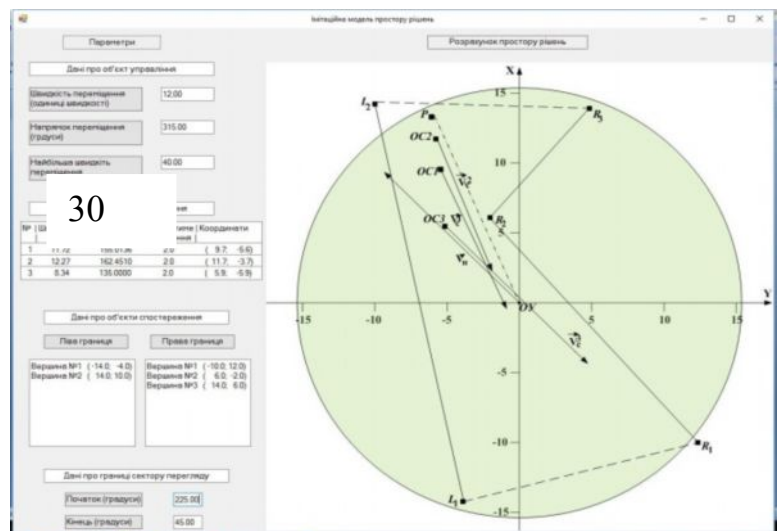


Рис. 14. Модель простору рішень

6. Досліджено імітаційну модель синтезу припустимих рішень конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів, що дозволило:

а) провести синтез стратегій управління при вирішенні конфлікту взаємодії ОУ та ОС в просторі Q вміщує декілька етапів, а саме: синтез моделі опису простору G_{piu}^* , опис стану взаємодії ОУ з ОС;

б) обчислити за похідними даними та функцією ціни з застосуванням імітаційної моделі значення параметрів управління ОУ щодо реалізації стратегій рішення конфлікту взаємодії ОУ з ОС в умовах обмежень простору Q та невизначеності (рис. 15);

в) синтезувати за результатами імітаційного моделювання за функцією ціни синтезовано дві альтернативні траєкторії переміщення ОУ OM_1M_3P при значенні функції ціни $J = 0.244$ та OM_1M_2P при значенні функції ціни $J = 0.451$;

г) обчислити за похідними даними, які наведені в інтерфейсній формі імітаційної моделі, обчислено ПКУО для точки O (рис. 16) при початку переміщення за елементом траєкторії (OM_1);

д) обчислити ПКУО для точки M_1 в уявленні збереження напрямку переміщення на точку P (рис. 17);

е) впевнитись у відсутності конфлікту взаємодії ОУ з ОС в умовах обмежень та невизначеності (рис. 18) при зміні напрямку переміщення в точці M_1 на точку M_3 ;

є) синтезувати для алфавіту S^0 синтезовано автоматне

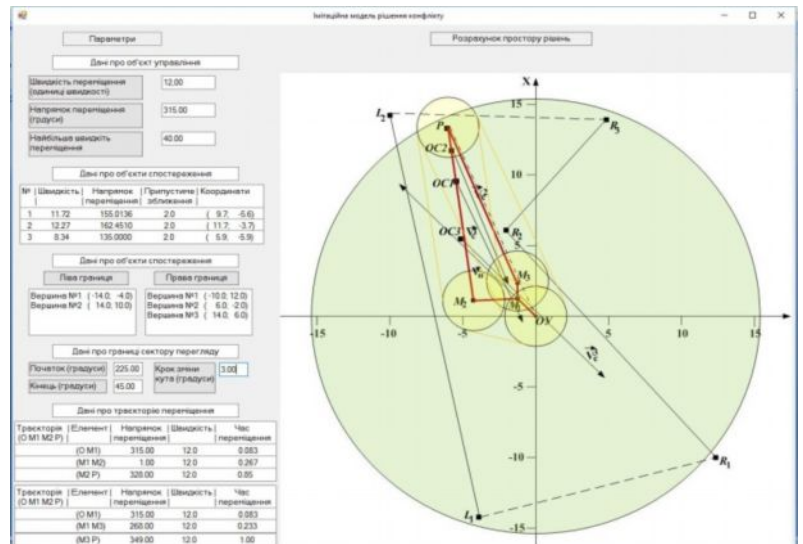


Рис. 15. Модель рішення конфлікту

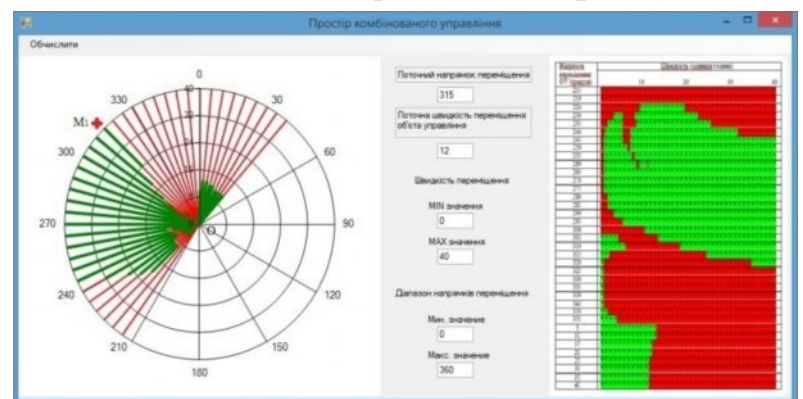


Рис. 16. ПКУО в точці O

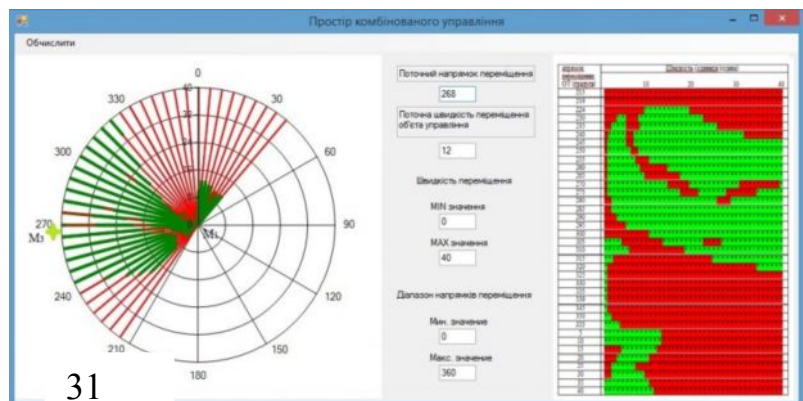


Рис. 17. ПКУО в точці M_1

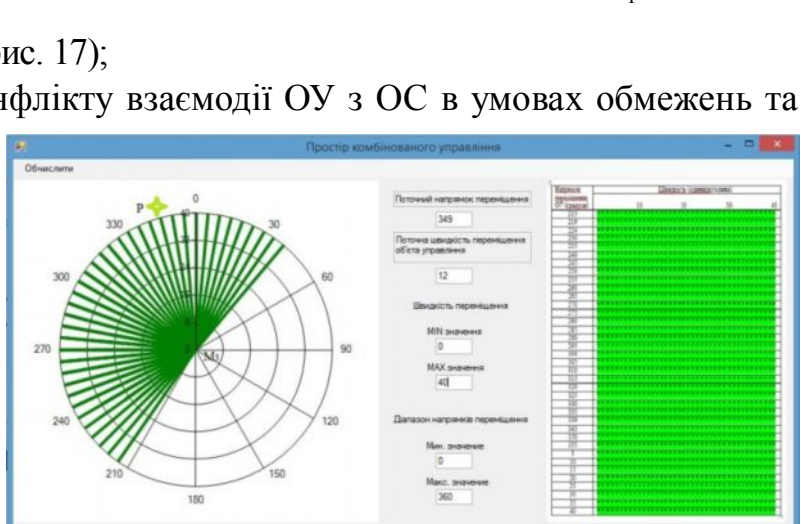


Рис. 18. ПКУО в точці M_3

відображення $S^i(B^0, B^i, F^0, F^i, t)$, яке задовольняє умовам повноти для ОУ.

За результатами дослідження методу рішення конфлікту, який розроблено в роботі, зроблено такі висновки:

по-перше, синтезовані ланцюжки рішень побудовані тільки в просторі гарантованого існування управлінь, можуть бути реалізовані ОУ при вирішенні задачі цілеслаженості $C^0 \subset Q$ та можуть бути здійснені в просторі S^0 , який фактично є простором $G_{\text{ріш}}$;

по-друге, при синтезі ланцюжків рішень щодо управління ОУ в задачах конфлікту згідно похідним даним, що визначені в описі повідомлення СІУ та відображені на рис. 14, значення функція ціни, які наведені на діаграмі (рис. 19), вказують на ефективність методу пошуку варіантів оптимальних рішень.

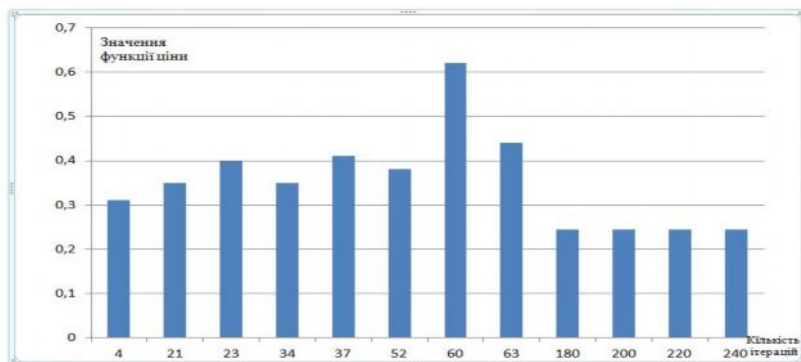


Рис. 19. Гістограма зміни значень функції ціни

7. Досліджено імітаційну модель синтезу варіантів припустимих рішень конфлікту за методом евристичного пошуку, що дозволило:

а) побудувати граф припустимих переходів (траєкторій) переміщення ОУ в просторі $G_{\text{ріш}}^*$ згідно моделі, правилам і відносинам (рис. 20);

б) визнати, що метод евристичного пошуку є найбільш прийнятним при синтезі стратегій рішення та ланцюжків управління в зоні надзвичайного зближення

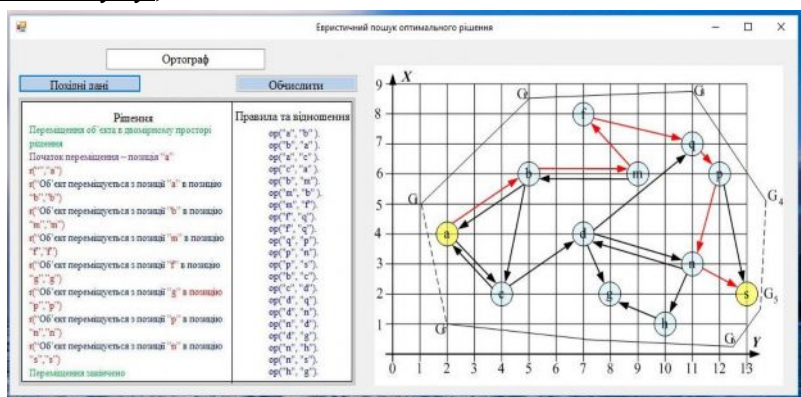


Рис. 20. Модель методу евристичного пошуку

ОУ з ОС за відсутності дії правил P^0 для граматики $\Gamma_{\text{пр}}^0$.

8. Досліджено імітаційну модель синтезу варіантів припустимих рішень конфлікту в кібернетичному просторі, що дозволило зробити такі висновки:

а) відношення щодо ініціації об'єкта суб'єктом чи іншим об'єктом є ключовими для аналізу можливостей здійснення переходу системи в незахищений стан при зміні характеристик матриці доступу Ω , які передбачені функціональністю кібернетичних систем (КС) та політикою безпеки системи захисту інформації;

б) моделювання можливості отримання Z-системи за результатами переведення КС в новий стан показало доцільність використання моделей і підходів щодо вирішення задачі спостереження та пошуку в кібернетичному просторі, який притаманний конкретній КС, з використанням методів інтегрального усереднення варіантів та евристичного пошуку.

За напрямом щодо дослідження властивостей технологічних рішень за методологією оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту в роботі.

1. Проведено аналіз часових характеристик рішення конфлікту інтелектуальним перетворювачем СІУ ОУ за методом інтегрального усікання варіантів, що дозволило:

а) отримані кількісні характеристики (рис. 21), за якими визначено ідентифікаційну модель оцінювання часу синтезу ланцюжків оптимальних рішень щодо управління ОУ при взаємодії з ОС в просторі Q ;

б) впевнились в тому, що час рішення конфлікту для 1 і 9 ОС відрізняється в 7,143 рази і не перевищує 1 секунду при кількості кроків обчислення результату, яка визначається правилом зупинки, а при застосування методу рішення біматричних коаліційних ігор для тієї ж кількості ОС становить для 8 стратегій 7,768 рази і не перевищує 74 секунди для методу Брауна-Робертсона та 10,154 і не перевищує 28 секунд для монотонного ітераційного алгоритму;

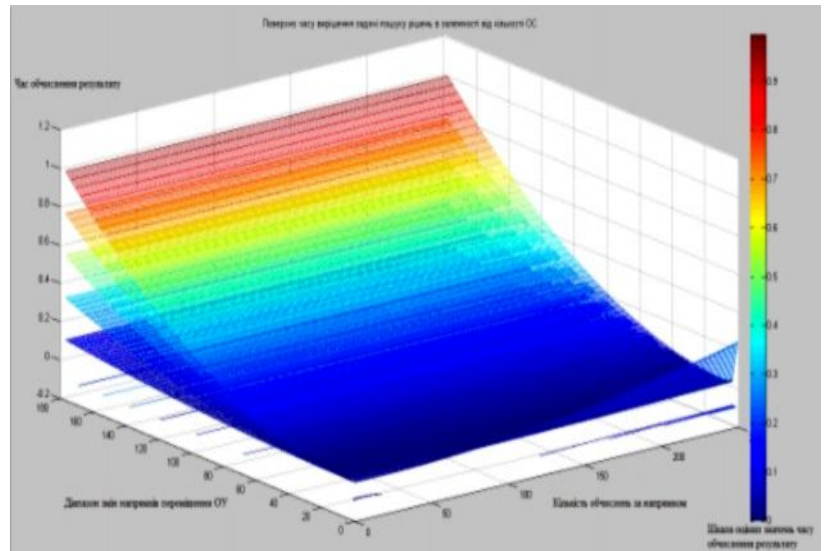


Рис. 21. Залежність часу рішень

в) впевнились в тому, що при ітерацій, яка дорівнює 8, час рішення конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів менше часу рішення цієї ж задачі за методом біматричних коаліційних ігор для методу Брауна-Робертсона в 4,64 рази, а для монотонного ітераційного алгоритму в 8,243 рази.

г) впевнились в тому, що відносно кількості ОС алгоритм методу інтегрального усікання варіантів є поліноміальним і може бути визначений як "добрий" та віднесений до класу P -складних алгоритмів 33

В свою чергу це дозволило зробити висновок про те, що:

по-перше, обчислення ПКУО, СННП, простору G_{piu}^* та параметрів пошуку рішення за методами інтегрального усікання варіантів, евристичного пошуку та іншими алгоритмами, які забезпечують формування інформаційних повідомлень, їх обробку, аналіз та синтез рішень - базуються на алгоритмах класу P , які використовують вузький клас функцій – клас предикатів $f: \Sigma^* \rightarrow \{0,1\}$, та є одним з найвужчих класів складності, який належить також до класу NP і допускає поліноміальну реалізацію з нульовою помилкою;

по-друге, алгоритм методу інтегрального усікання варіантів, розроблений відповідно до запропонованої в дисертаційній роботі методології оптимального управління об'єктом, в порівнянні з алгоритмами рішення конфлікту, що визначені ігровим підходом, за проведеним імітаційним експериментом показав високу ефективність щодо вирішення біматричної коаліційної гри (рис. 22).

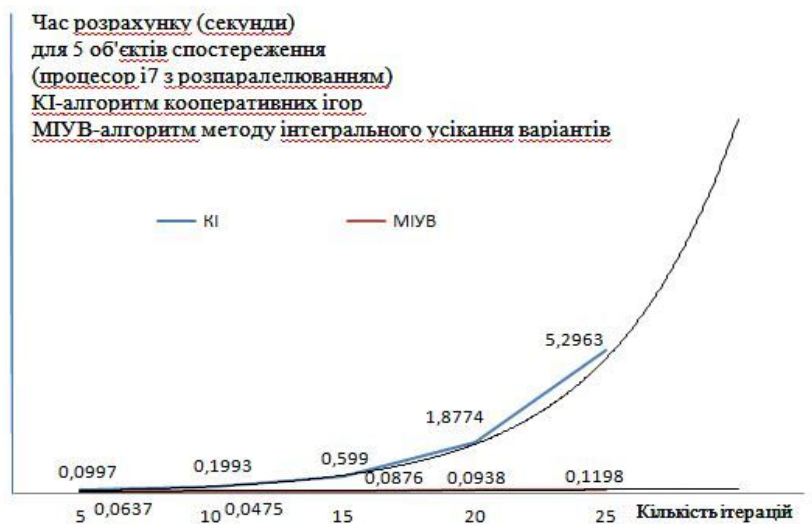


Рис. 22. Оцінка ефективності алгоритмів

Досліджено стійкості системи інтелектуального управління об'єктом. Отримані результати свідчать про те, що:

а) СІУ, згідно діаграми Нікольса (рис. 23), має сталу похибку $e_{ss} \leq 0,09$, є недемпфованою з перерегулюванням в межах 60% та запасом по фазі, що дозволяє здійснювати обчислювальні процедури щодо рішення конфлікту в інтелектуальному перетворювачі, яким є підсистема синтезу цілі та рішень;

б) стійкість СІУ, згідно діаграми Боде (рис. 24) забезпечується підсистемою синтезу цілі та рішень для усіх додатних значень коефіцієнту підсилення пропорційної ланки;

в) автоколивання в СІУ, згідно перехідної характеристики (рис. 25), можливі за умови великих значень коефіцієнту підсилення пропорційної ланки ($K > 10$);

г) розімкнена СІУ, за результатами аналізу її частотних характеристик, не забезпечує зв'язку між ними та характеристиками часовими, що, як результат, визначає стійкість СІУ та сталість її стану при рішенні конфлікту в просторі рішень.

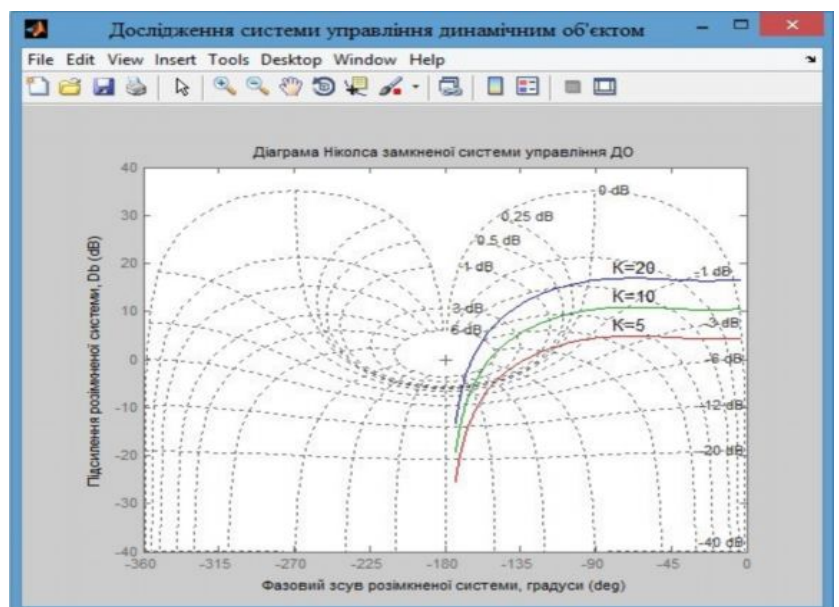


Рис. 23. Діаграма Нікольса

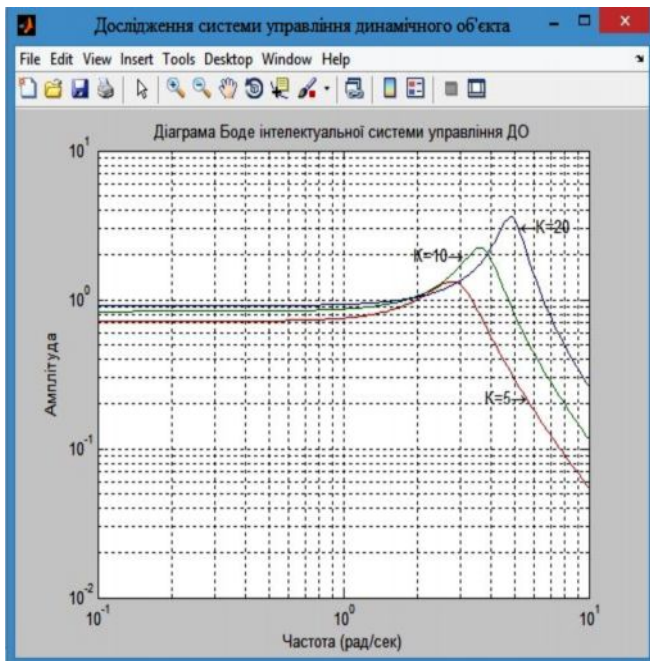


Рис. 24. Діаграма Боде

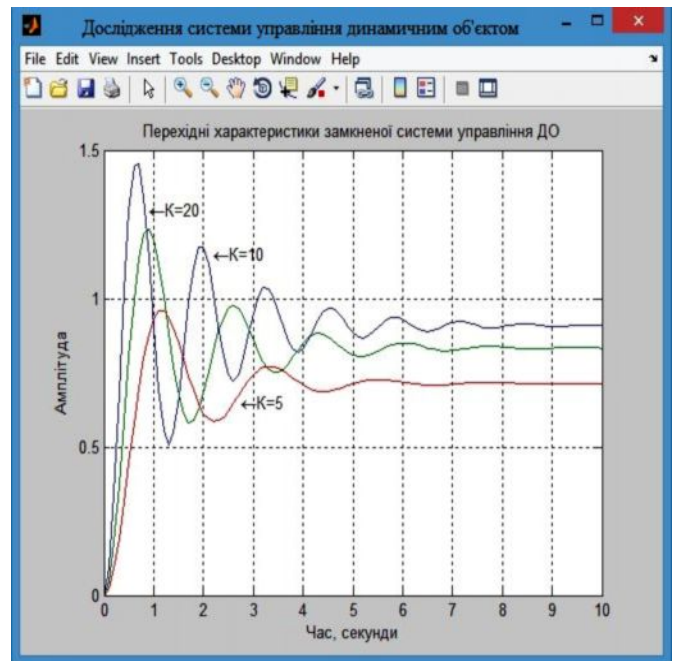


Рис. 25. Перехідна характеристика

г) аналіз частотних характеристик розімкненої системи інтелектуального управління об'єктом показує фактичну відсутність зв'язку між часовими та частотними характеристиками системи управління об'єктом в просторі управління, що визначає його стійкість та сталість стану при рішенні конфлікту в просторі рішень.

Таким чином СИУ, що функціонують за алгоритмами, які визначені методологією оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей, дозволяють забезпечити вимоги гомеостазису для ТС і ТЕС різної фізичної сутності та забезпечують вииграш у показнику швидкодії для вже для трьох ОС не менше, ніж від 1,36 разів в порівнянні з методами дослідження операцій.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримано принципово нове вирішення актуальної наукової проблеми, що полягає у *забезпеченні поліноміального часу рішення задач конфлікту та стійкості функціонування СИУ об'єктом в цілому при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах існуючих обмежень та невизначеностей*. За результатами аналізу та узагальнення наукових і методологічних засад щодо існуючих підходів і методів вирішення конфліктів в ТС та ТЕС в роботі, по-перше, запропоновано структуру математичної моделі інтелектуального перетворювача, по-друге, запропоновано структуру математичних, семіотичної і семантичної моделей, які формально описують конфлікт в ТС та/або ТЕС та сприяють вирішенню задачі синтезу стратегій та вибору оптимального рішення в СИУ ОУ, по-третє, сформульовано низку аксіом, які застосовуються при формуванні математичної моделі сукупності елементів ДО або ДС, по-четверте, запропоновано структурну схему системи інтелектуального управління об'єктом, по-п'яте, сформульовано наукову проблему, що підлягає вирішенню та запропоновано загальну концепцію дисертаційного дослідження.

До основних результатів дисертаційного дослідження слід віднести:

1) теоретико-множинну модель взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження за умов конфлікту, обмежень та невизначеностей, **впровадження якої дозволило, по-перше**, визначати основні взаємозв'язки конфлікту з середовищем, в якому конфлікт розвивається, по-друге, визначати характер і способи біфуркації елементів і підструктур конфлікту, по-третьє, досліджувати властивості топологічності математичного простору представлення для ТММ конфліктної системи, по-четверте, формувати формальні моделі конфлікту взаємодії об'єктів конфліктуючої системи в просторі спостереження й, по-п'яте, визначати шляхи запобігання та рішення конфлікту в класі поліноміальних алгоритмів;

2) семіотичну модель взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі спостереження, **впровадження якої дозволило, по-перше**, використовувати правила змін семіотичної моделі інтелектуального перетворювача відповідно до ТММ, по-друге, використовувати мову і граматику загального виду для опису процесів взаємодії об'єктів в ПС, по-третьє, використовувати формальну мову для опису множини ланцюжків управління об'єкту при переміщенні з початкової в кінцеву термінальну позицію в ПР;

3) семантичну модель взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі спостереження, **впровадження якої дозволило, по-перше**, використовувати мову і КВ-граматику опису подій в СІУ для МП-автомату аналізу повідомлень, по-друге, здійснювати синтез стратегій та ланцюжків гарантовано оцінених керуючих впливів в ІІ СІУ при рішенні конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі рішення;

4) метод рішення конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей, як *NP*-повної перебірної задачі динамічної дискретної оптимізації, **впровадження якого дозволило, по-перше**, визначити правила продукції для формування гарантовано оцінених ланцюжків управління при переміщенні ОУ з початкової в кінцеву термінальну позицію ПР, по-друге, визначити, що критерій відбору не входить до правил мови класу предикатів і входить в граматику загального виду ТММ ОУ, по-третьє, забезпечити вирішення конфліктів великої розмірності з високим рівнем абстракції в гарантовано оціненому ПР, по-четверте, визначати властивості конфліктів при множинному уявленні ПР;

5) вирішуючі правила і формальні методи визначення інформаційних множин, доповнення простору рішень, гарантованого управління об'єктом при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження, **впровадження яких дозволило, по-перше**, формувати множини простору комбінованого управління об'єктом, по-друге, доповнювати простір рішень, по-третьє, визначати сектори небезпечних напрямків переміщення об'єкта управління, по-четверте, формально описувати простір рішень;

6) метод формування функціонального віртуального простору рішень для варіативної множини об'єктів спостереження, **впровадження яких дозволило, по-перше**, здійснювати інтегральне врахування інформаційних множин небезпечних станів простору рішення, по-друге, визначати множини гарантовано оціненого управління ОУ при переміщенні в ПР, по-третьє, визначати напрямки переміщення

інформаційних множин небезпечних станів в просторі рішення конфлікту;

7) метод синтезу та вибору стратегій (траєкторій) переміщення та гарантованого управління об'єктом в просторі рішень при взаємодії з варіативною множиною ОС в умовах конфлікту, обмежень і невизначеностей (метод інтегрального усікання варіантів), **впровадження яких дозволило, по-перше**, визначати чисельне, а не аналітичне подання моделі рішення конфлікту і обмежень конфліктуючої системи; **по-друге**, визначати оптимальну траєкторію переміщення об'єкта управління за умов його оптимального гарантовано оціненого управління; **по-третє**, визначити критерій відбору (функцію ціни) при рішенні конфлікту; **по-четверте**, визначити ознаку розривності ПР, **по-п'яте**, визначити правило зупинки при рішенні конфлікту, **по-шосте**, визначити алгоритм рішення конфлікту, **по-шосте**, забезпечити P -час рішення конфлікту.

Результати імітаційного моделювання процесів щодо удосконалення інформаційних технологій автоматизації процесів оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеності, а також дослідження частотних характеристик та характеристик стійкості СІУ ОУ для обчислювального середовища ПП з продуктивністю 0,8 gigaFLOPS свідчать, про те, що:

- стійкість функціонування СІУ забезпечується при додатньому значенні коефіцієнта підсилення пропорційного елемента ($K > 0$) в передатковій функції;
- значення сталої похибки СІУ з регулятором, яким є підсистема синтезу цілі та рішень, не перевищує $e_{ss} \leq 0,09$ при запасі по фазі не більш 15° і перерегулюванні 60% та граничному щодо виникнення автоколивань значенні коефіцієнта підсилення пропорційного елемента $K \leq 20$;
- можливість застосування СІУ об'єктом для кібернетичних систем при значенні коефіцієнта підсилення пропорційного елемента $K < 3$ та для динамічних об'єктів, включаючи нелінійні, при значенні $K < 10$;
- застосування розробленої методології рішення конфлікту в інтелектуальному перетворювачі дає вигоду у показнику швидкодії від 1,5 до 8,243 рази в порівнянні з методами рішення біматричних коаліційних ігор при взаємодії ОС в кількості до 4;
- поліноміальну залежність значення часу рішення конфлікту за алгоритмами, які реалізують запропоновану методологію оптимального управління в СІУ об'єктом;
- ефективність використання розробленої методології при варіативній кількості об'єктів спостереження.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження підтверджується результатами імітаційного моделювання рішення конфлікту за розробленою методологією та за методом рішення біматричної коаліційної гри.

У своїй сукупності отримані в роботі наукові результати утворюють нову інформаційну технологію рішення конфлікту для СІУ об'єктами різної фізичної сутності, включаючи динамічні та кібернетичні. Конкретні моделі й процедури синтезу і вибору альтернативних рішень при рішенні конфлікту взаємодії ОУ з варіативною множиною ОС складають при цьому методологічну основу оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Фахові видання:

1. Семко В.В., Павлов В.В. Применение метода интегрального усечения вариантов при синтезе стратегий управления подвижным объектом / В.В.Семко, В.В.Павлов // Кибернетика и вычислительная техника. - 1989. - Вып. 84. - С.1-6.
2. Семко В.В., Модель конфлікту взаємодії об'єктів кібернетичного простору / В.В.Семко // Проблеми інформатизації та управління. - 2012. - Вып. 2(38). - С.88-92.
3. Семко В.В. Система обеспечения безопасности на социально-экономических и информационных объектах с учетом психофизического состояния людей / В.А.Темников, В.В.Семко, Е.Л. Темникова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2007. - №5(111) - С.121-124.
4. Семко В.В., Построение системы определения психофизиологического состояния личности для профессиональной диагностики. / В.О.Темніков, В.В.Семко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2008. - №8(126) - С.195-199.
5. Семко В.В. Формальний опис простору пошуку при синтезі рішень / В.В.Семко // Проблеми інформатизації та управління. - 2013. - Вып. 2(42). - С.104-111.
6. Семко В.В. Модель взаємодії кібернетичних організмів та синтез стратегій оптимального керування в кібернетичному просторі / В.В.Семко // Проблеми інформатизації та управління. - 2013. - Вып. 3(43). - С.75-82.
7. Семко В.В. Екологія кібернетичного простору / В.В.Семко, Г.М.Гулак // Інформаційна безпека людини, суспільства, держави. - 2014. - №1(14). - С.95-103.
8. Семко В.В. Логіко-математична модель опису простору рішень / В.В.Семко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. - 2013. - № 2(65). - С.147-155.
9. Семко В.В. Дослідження властивостей рішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів / В.В.Семко, О.В.Семко // Проблеми інформатизації та управління. - 2014. - Вып. 2(46). - С.60-71.
10. Семко В.В. Використання методу інтегрального усікання варіантів при вирішенні задач конфлікту взаємодії об'єктів в просторі спостереження / В.В.Семко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2015. - Вып. № 1. - С.59-66.
11. Семко В.В. Моделювання турбулентності приземного шару атмосфери / В.В.Семко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. - 2015. - № 2(78). - С.230-234.
12. Семко В.В. Вирішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів / В.В.Семко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2015. - Вып. № 2. - С.40-50.
13. Семко В.В. Модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі / В.В.Семко, В.Л.Бурячок, С.В.Толюпа, П.М.Складанний // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Радіoeлектроніка та телекомунікації. - 2015. - № 818. - С.151-155.
14. Семко В.В. Ситуаційне управління доступом в інформаційно-телекомунікаційній системі [Електронний ресурс] / В.В. Семко, В.Л. Бурячок, С.В. Толюпа, П.М.

Складаний // Проблеми телекомунікацій. – 2015. – № 2 (17). – С. 54-61. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2015/2/1/152_semko_access.pdf.

15. Семко В.В. Метод побудови областей керованих станів динамічного об'єкту / В.В.Семко // Математичні машини і системи. - 2015. - Вип. № 3. - С.44-52.

16. Семко В.В. Побудова областей керованих станів динамічного об'єкта / В.В.Семко, В.І.Чепіженко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2015. - Вип. № 3. - С.25-30.

17. Семко В.В. Модель системи виявлення вторгнень з використанням двоступеневого критерію виявлення мережних аномалій / В.В.Семко, Г.М.Гулак, П.М.Складаний // Сучасний захист інформації. - 2015. - Вип. № 4. - С.81-85.

18. Семко В.В. Топологічний ситуаційний аналіз та синтез стратегій управління об'єктом в умовах конфлікту, невизначеності поведінки та варіативної множини об'єктів спостереження / В.В.Семко // ScienceRise. - 2016. - № 9/2(26). - С.62-69.

19. Семко В.В. Квазілінійна система інтелектуального управління конфліктом / В.В.Семко // Зв'язок. - 2016. - № 5. - С.68-71.

20. Семко В.В. Алгебраїчний підхід до рішення конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів / В.В.Семко // Сучасний захист інформації. - 2016. - № 3. - С.4-10.

21. Семко В.В. Модель функціонування системи інтелектуального управління об'єктом / В.В.Семко, В.Л.Бурячок // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2016. - № 3(43). - С.21-29.

Публікації, що додатково відображають результати дисертаційного дослідження:

22. Семко В.В. Автоматизация управления подвижным объектом в условиях конфликта / В.В.Семко // Моделирование в обеспечении безопасности полетов. - Киев: КИИГА, 1987. - С.67-73.

23. Семко В.В. Система автоматизации этапа теоретической подготовки бортиженеров / В.В.Семко, Л.А.Журавлева // Предотвращение авиационных происшествий в гражданской авиации: Сб. научн. тр. - Киев: КИИГА, 1988. - С.93-102.

24. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №25553 від 24.09.2008. Комп'ютерна програма "Програма для ПЕОМ щодо ведення бази даних дозволів на викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря та надання інформації громадськості" ("Дозвіл") / В.В.Семко, О.О.Михайловський; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю "Елан"; заявл. №26809 від 22.08.2008; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №12, Бюл. №17.

25. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №26411 від 11.11.2008. Комп'ютерна програма "Психодіагностичні методики" до тематичного блоку "Пізнай себе" Програмно-апаратного комплексу "Профорієнтаційний термінал" / В.В.Семко, О.О.Михайловський; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю "Елан"; заявл. №27406 від 27.10.2008; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №12, Бюл. №17.

26. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №39113 від 11.07.2011. Комп'ютерна програма "Крос-платформена клієнт-серверна технологія захищеного

обміну електронними даними з використанням терміналів мобільного телефонного зв'язку" ("ТЗОД") / Семко В.В., Михайловський О.О., Гіденко О.В., Зінов'єв О.В., Мельник В.Т., Барткова В.А; заявник та власник авторських прав Товариство з обмеженою відповідальністю "Елан"; заявл. №39558 від 20.05.2011; видане Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; опубл. Кат. №15, Бюл. №25.

27. Семко В.В. Інформаційний та кіберпростори: проблеми безпеки, методи та засоби боротьби / В.Л.Бурячок, В.В.Семко, П.М.Складанний, Н.В. Лукова-Чуйко – К.: ДУТ - КНУ, 2016. – 178с. (з них власних 32 с.) Гриф надано Міністерством освіти і науки України згідно з листом №1/11-8662 від 22.06.2015р.

28. Семко В.В. Розробка інформаційно-аналітичної системи з безпеки цивільної авіації України / В.Н.Голего, В.В.Семко, О.І.Запорожець, С.О.Тарасенко, О.Й.Левіт // Обеспечение безопасности полетов в новых экономических условиях. Материалы международной научно-практической конференции- Киев: КМУГА, 1997. - С.50-51.

29. Семко В.В. Розробка автоматизованої системи супроводження нормативно-технічної і керівної документації цивільної авіації України / В.Н.Голего, В.В.Семко, С.О.Тарасенко, О.Й.Левіт // Обеспечение безопасности полетов в новых экономических условиях. Материалы международной научно-практической конференции - Киев: КМУГА, 1997. - С.51-53.

30. Семко В.В. Повышение безопасности компьютерных систем на основе учета психофизиологического состояния операторов / В.В.Семко, В.А.Темников, А.И.Арифов // Збірник тез II міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні системи та мережні технології". - Київ: НАУ, 2009.- С.81.

31. Семко В.В. Модель конфликта взаимодействия объектов в кибернетическом пространстве / В.В.Семко // Комп'ютерні системи та мережні технології. Тези доповідей V міжнародної науково-технічної конференції. - Київ: НАУ, 2012.- С.116.

32. Семко В.В. Защищена операційна система. Досвід створення / В.В.Семко, В.О.Темніков // Комп'ютерні системи та мережні технології. Тези доповідей VI міжнародної науково-технічної конференції. - Київ: НАУ, 2013.- С.109.

33. Семко В.В. Концепція топологічного ситуаційного аналізу та синтезу в "малому" управлінні об'єктом в умовах конфлікту, невизначеності поведінки та варіативної множини об'єктів спостереження / В.В.Семко // Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави. Матеріали науково-технічної конференції студентів, аспірантів, викладачів та науковців: 18 грудня 2014 року. - Київ: Державний університет телекомунікацій, - 2014. - С.90-91.

АНОТАЦІЯ

Семко В.В. Методологія оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми, що полягає у забезпеченні поліноміального часу рішення задач конфлікту та стійкості

функціонування СІУ об'єктом в цілому при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах існуючих обмежень та невизначеностей.

Об'єкт дослідження – процес оптимального управління багатомірними об'єктами в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження. *Предмет дослідження* – методологія синтезу стратегій оптимального управління об'єктами в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження. *Мета роботи* – підвищення швидкодії і стійкості функціонування систем інтелектуального управління об'єктами в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження. *Новизна роботи* визначається розвитком теоретичних і практичних методів прийняття рішень, що дозволять отримувати більш прості процедури синтезу рішень щодо управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей при взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження в просторі спостереження, а також створювати гомеостатичні системи інтелектуального управління (СІУ) об'єктами, включаючи динамічні нелінійні. Вона полягає в удосконаленні теоретичних положень щодо створення СІУ рішення конфлікту взаємодії ОУ з варіативною множиною ОС та формування простору рішень (ПР) конфлікту взаємодії ОУ з варіативною множиною ОС, а також технології синтезу та вибору стратегій оптимальної поведінки складних ТС і ТЕС при розв'язанні конфлікту їх взаємодії з варіативною множиною об'єктів спостереження та технології автоматизації процесів інтелектуального управління рішенням конфлікту взаємодії ОУ з варіативною множиною ОС за рахунок розробки:

- теоретико-множинної моделі взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною об'єктів спостереження за умов конфлікту, обмежень та невизначеностей;
- семіотичної моделі взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною ОС в просторі спостереження;
- семантичної моделі взаємодії об'єкту управління з варіативною множиною ОС в просторі спостереження;
- методу рішення конфлікту взаємодії об'єкта управління з варіативною множиною об'єктів спостереження в умовах обмежень та невизначеностей, як NP-повної перебірної задачі динамічної дискретної оптимізації;
- вирішуючих правил і формальних методів визначення інформаційних множин доповнення ПР та гарантованого управління ОУ;
- методу формування функціонального віртуального ПР для варіативної множини ОС;
- методу синтезу та вибору стратегій (траєкторій) переміщення та гарантованого управління ОУ в ПР (метод інтегрального усікання варіантів і Р-алгоритму синтезу рішень та ланцюжків гарантованого управління ОУ в ПР).

Як результат це дозволило забезпечити вимоги гомеостазису для ТС і ТЕС різної фізичної сутності та виграш у показнику швидкодії для вже для трьох ОС не менше, ніж від 1,36 разів в порівнянні з методами дослідження операцій, а також гарантувати стійкість СІУ ОУ в просторі спостереження.

Розроблена методологія оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей може бути розповсюджена на кінематичні, динамічні,

включаючи нелінійні, та основні об'єкти інформаційної та кіберінфраструктури України з питань реагування на комп'ютерні інциденти.

Ключові слова: синтез рішень, математична модель, конфлікт, невизначеність, обмеження, об'єкт управління, синтез стратегій, алгоритм з поліноміальним часом, динамічна система, імітаційна модель, стійкість системи управління.

АННОТАЦІЯ

Семко В.В. Методологія оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень і неопределенностей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киев, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научной проблемы, состоящей в обеспечении полиномиального времени решения задач конфликта и устойчивости функционирования СИУ объектом в целом при взаимодействии с вариативной множеством объектов наблюдения в условиях существующих ограничений и неопределенностей.

Объект исследования – процесс оптимального управления многомерными объектами в условиях конфликта, ограничений и неопределенностей при взаимодействии с вариативной множеством объектов наблюдения. *Предмет исследования* – методология синтеза стратегий оптимального управления объектами в условиях конфликта, ограничений и неопределенностей при взаимодействии с вариативной множеством объектов наблюдения. *Цель работы* – повышение быстродействия и устойчивости функционирования систем интеллектуального управления объектами в условиях конфликта, ограничений и неопределенностей при взаимодействии с вариативной множеством объектов наблюдения. *Новизна работы* определяется развитием теоретических и практических методов принятия решений, которые позволят получать более простые процедуры синтеза решений по управлению объектом в условиях конфликта, ограничений и неопределенностей при взаимодействии с вариативной множеством объектов наблюдения в пространстве наблюдения, а также создавать гомеостатические системы интеллектуального управления (СИУ) объектами, включая динамические нелинейные.

Новизна работы заключается в:

1) усовершенствовании теоретических положений, связанных с созданием системы интеллектуального управления для решения конфликта (разработка метода решения, теоретико-множественной, семиотической и семантической моделей взаимодействия объектов конфликта в условиях ограничений и неопределенностей);

2) усовершенствовании теоретических положений, связанных с формированием пространства решений конфликта в условиях ограничений и неопределенностей (разработка решающих правил, формальных методов определения информационных множеств и дополнения пространства решений, определения множеств гарантированного управления объектом, методов формирования функционального виртуального пространства решений);

3) усовершенствовании технологии синтеза и выбора стратегий оптимального поведения сложных технических и технических эргатических систем (разработка метода синтеза и выбора траекторий перемещения и гарантированного управления объектом в условиях конфликта, ограничений и неопределенностей);

4) усовершенствовании технологий автоматизации процессов интеллектуального управления объектом в условиях конфликта, ограничений и неопределенностей;

5) исследовании свойств технологических решений, разработанных в соответствии с методологией оптимального управления объектом в условиях конфликта, ограничений и неопределенностей.

В результате проведенных исследований впервые:

- предложена теоретико-множественная модель взаимодействия объекта управления с вариативным множеством объектов в пространстве наблюдения при условии конфликта, произвольной системы ограничений и неопределенностей, что позволило за счет системно-структурного исследования явления определить основные взаимные связи конфликта со средой, определить характер и способы бифуркации элементов и подструктур конфликта, предложить формальную модель взаимодействия объектов конфликтующей системы;

- определен концептуальный подход и метод решения конфликта в классе полиномиальных алгоритмов, что обеспечено использованием предикативных структур определения правил, отношений, языковых структур и множеств, которые характеризуют состояние объектов в пространстве решений и обеспечивает высокую производительность метода интегрального усечения вариантов;

- предложена функциональная структура, определена грамматика и язык описания состояния объектов, которые связаны с синтезом стратегий и цепочек гарантированно оцененных управляющих воздействий в интеллектуальной системе управления при решении конфликта взаимодействия объекта управления с вариативным множеством объектов наблюдения в сформированном пространстве решений, что позволило использовать контекстно-свободные грамматики для описания языковых структур характера взаимодействия объектов в пространстве наблюдения;

- предложена структура системы ситуационного управления объектом, которая позволяет определить наборы цепочек управления в соответствии с синтезованными стратегиями решения конфликта в условиях ограничений и неопределенностей;

- предложен метод интегрального усечения вариантов для синтеза стратегий решения и цепочек гарантированно оцененных управляющих воздействий на объект управления, что позволило обеспечить решение конфликта в классе алгоритмов с полиномиальным временем.

Ключевые слова: синтез решений, математическая модель, конфликт, неопределенность, ограничения, объект управления, синтез стратегий, алгоритм с полиномиальным временем, динамическая система, имитационная модель, устойчивость системы управления.

ANOTATION

Semko V.V. Methodology of optimal control object in the context of the conflict, limitations and uncertainties. – Manuscript.

Dissertation on the competition of graduate degree of doctor of technical sciences, speciality 05.13.06 – Information technologies. – Institute of Telecommunications and Global Information Environment of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis are devoted to solving urgent scientific problems that are providing polynomial time solving the problems and conflict intellectual control system (ICS) sustainability of the whole object in the interaction of multiple variable objects of observation in the existing constraints and uncertainties.

The object of study - the process of optimal control of multidimensional objects in conflict, limitations and uncertainties in the interaction of multiple variable objects of observation. Subject of research - synthesis methodology optimal management of strategies in conflict, limitations and uncertainties in the interaction of multiple variable objects of observation. Purpose - improving the performance and sustainability of systems intelligent control objects in conflict, limitations and uncertainties in the interaction of multiple variable objects of observation.

The novelty of the work is determined by the development of theoretical and practical methods of decision-making that will receive more simple synthesis procedure decisions about site management in conflict, limitations and uncertainties in the interaction with a variable set of observed objects in space surveillance, and create predictive homeostatic system management objects, including dynamic nonlinear.

It is to improve theoretical positions to create a solution to the conflict ICS interaction supervision object (SO) variable with multiple operating systems and the formation of the solution space (SS) SO conflict interaction of multiple variable operating and synthesis technology and choosing the optimal behavior of complex strategies for technical system (TS) and technical ergatic system (TES) in resolving conflict their interaction with multiple variable objects of surveillance technology and process automation intelligent control solution to the conflict interaction CO variable with multiple SO through the development of:

- set-theoretic model of object interaction management with multiple variable objects observation conflict conditions, limitations and uncertainties;
- semiotic model of object interaction management with variable multiple SO in space surveillance;
- semantic model of object interaction management with variable multiple operating systems in space surveillance;
- method for solving the conflict interaction control object variable set of observed objects within the constraints and uncertainties as NP-complete problem fingering dynamic discrete optimization;
- deciding the rules and formal methods for determining information sets complement of SS and guaranteed control SO;
- method of forming a functional variant virtual SS to set the SO;

- the method of synthesis and selection strategies (trajectories) displacement and guaranteed SO management the SS method (truncation options and integrated P-algorithm synthesis solutions and guaranteed chain management in the SO SS.

As a result, it is possible to provide the requirements for TC and TES homeostasis of different physical nature and gain in performance index for three already operating at least by 1.36 times compared with the methods of operations research, and to ensure the stability of ICS SO in space observation. A methodology optimal site management in conflict, limitations and uncertainties can be spread to kinematic, dynamic, including nonlinear, and the main objects and information cybernetic infrastructure of Ukraine on computer incident response.

Key words: *synthesis of decisions, mathematical model, conflict, vagueness, limitations, management object, synthesis of strategies, algorithm with polynomial time, dynamic system, simulation model, stability of control system.*