

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Графова модель керування рухом безпілотного  
транспортного засобу

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСМм-22-2  
Шістеров І.Ю.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Лебедєв О.Г.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 «Комп'ютерна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Комп'ютерні системи та мережі \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту \_\_\_\_\_ Шістерову Ігору Юрійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Графова модель керування рухом безпілотного транспортного засобу

затверджена наказом по університету від “ 06 ” листопада 2023 р. № 1298Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 15 січня 2024р.

3. Вхідні дані до роботи 1) провести дослідження графової моделі керування рухом безпілотним транспортним засобом; 2) провести огляд та аналіз керування безпілотним транспортним засобом; 3) провести дослідження методів взаємодії системи «безпілотний транспортний засіб - покриття» в умовах невизначеності; 4) провести експериментальні дослідження застосування графової моделі.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

1) огляд літератури за темою роботи;

2) аналіз предметної області;

3) вибір та обґрунтування методики дослідження;

4) проведення експериментальних досліджень;

5) висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_

Слайд-презентація – 23 слайди

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	07.11.23 - 13.11. 23	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	14.11. 23 - 20.11. 23	
3	Вибір інструментальних засобів	21.11. 23 - 23.11. 23	
4	Розробка моделей протоколів	24.11. 23 - 06.12. 23	
5	Проведення експериментів	07.12.23 - 23.12.23	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	26. 12. 23 - 02.01. 24	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	03. 01. 24 - 06.01. 24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	09.01.24 - 12.01. 24	

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Лебедєв О.Г.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 64 с., 10 рис., 1 дод., 14 джерел.

### БЕЗПІЛОТНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ, РУХ.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження графової моделі керування рухом безпілотним транспортним засобом.

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджується графова модель керування рухом безпілотним транспортним засобом. Ця модель дозволяє інженеру-розробнику спроектувати алгоритм роботи вбудованої системи керування рухом транспортного засобу за допомогою мікроконтролерів. Графова модель має І-АБО структуру, що дозволяє задати безліч шляхів, що сходяться в одній вершині і здійснювати тим самим вибір найкращих умов руху безпілотного транспортного засобу. Наукова новизна цієї моделі пов'язана з її інваріантністю до змін, що дозволяє використовувати її для управління рухом безпілотним транспортним засобом з розширюваним набором датчиків з оцінки зовнішнього середовища та дій оператора.

## ABSTRACT

Master's thesis: 64 pages, 10 figures, 1 appendices, 14 sources.

CONTROL, GRAPHIC MODEL, MOTION, UNMANNED VEHICLE.

The purpose of the qualification work is to study the graph model of traffic management of an unmanned vehicle.

In the course of the qualification work, a graph model of unmanned vehicle traffic control is investigated. This model allows the development engineer to design the algorithm of the embedded vehicle motion control system using microcontrollers. The graph model has an AND-OR structure, which allows you to specify many paths converging at one vertex and thereby choose the best conditions for the movement of an unmanned vehicle. The scientific novelty of this model is related to its invariance to changes, which allows it to be used to control the movement of an unmanned vehicle with an expandable set of sensors for evaluating the external environment and the actions of the operator.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ КЕРУВАННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ .....	10
1.1 Сучасний підхід аналізу та керування безпілотним транспортним засобом .....	10
1.2 Аналіз існуючих методів інтелектуального аналізу вхідної інформації	11
1.3 Інформаційні моделі та технічні засоби для керування безпілотним транспортним засобом .....	16
1.4 Методи взаємодії системи «безпілотний транспортний засіб – покриття» в умовах невизначеності.....	19
1.5 Огляд структури стабілізації безпілотного транспортного засобу у процесі руху .....	24
2 ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ.....	28
2.1 Глосарій математичних та алгоритмічних процесів прогностичної оцінки стану безпілотного транспортного засобу .....	28
2.2 Математичний апарат графової моделі керування рухом транспортним засобом при розвитку динамічно небезпечної ситуації .....	30
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РОБОТИ ГРАФОВОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ ПРИ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ СИТУАЦІЇ.....	41
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	49
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	52

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ  
І ТЕРМІНІВ

БТЗ – безпілотний транспортний засіб

ДНС – динамічно небезпечна ситуація

МСО – мережа, яка самоорганізується

ПЗ – програмне забезпечення

СІППР – система інтелектуальної підтримки прийняття рішень

MLP –штучна нейронна мережа багат шаровий персептрон (англ.,  
MultiLayer Perceptron)

## ВСТУП

В даний час у розвинених країнах світу ведуться наукові дослідження, які тісно пов'язані із дослідженнями застосування безпілотних транспортних засобів. Створення таких пристроїв, здатних у безпілотному режимі рухатися поверхнею, але за допомогою інтелектуальної систем управління (мається на увазі як автомобіль землі, так і марсохід) характеризується одиничним виробництвом. Інтелектуальна система управління таких безпілотних транспортних засобів діє за умов невизначеності поверхні, якою рухається цей транспортний засіб. Це говорить про те, що класичні підходи синтезу систем керування не працюють, наприклад:

- неможливо ефективно компенсувати зовнішні обурення;
- побудувати адекватну математичну модуль через широкий діапазон невизначеностей зовнішнього середовища;
- через широкий діапазон параметрів об'єкта управління рухом.

Розроблені в даний час:

- адаптивні методи управління;
- робастні методи управління;
- нейро-нечіткі методи управління вимагають або уточнення математичної моделі об'єкта управління, або процедури навчання у релевантних умовах, наприклад, моделювання атмосфери іншої планети на Землі.

Необхідна універсальна методика управління в умовах, що погано прогнозуються і хаотично змінюються. Для цього потрібно розглядати об'єкт управління як структурно-функціональну складну систему, а саме – декомпонувати об'єкт управління і зовнішнє середовище по блоках опису моделі руху. Закон управління стоїть на основі рекомендації для інтелектуальної системи управління в умовах невизначеності (хаосу).

Класичні методи аналізу, такі як статистична обробка або авторегресія, через малу вибірку і високу невизначеність збурень не дадуть прийнятної точності управління. Необхідний інтелектуальний аналіз параметрів руху безпілотних транспортних засобів, який включає алгоритми нечіткої логіки, аналіз нестаціонарних процесів (хаотична динаміка). Тому розробка адаптивної моделі управління рухом безпілотного транспортного засобу в умовах невизначеності є на сьогодні актуальним науковим завданням.

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ КЕРУВАННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕННОСТІ

## 1.1 Сучасний підхід аналізу та керування безпілотним транспортним засобом

Під час керування рухом безпілотного транспортного засоба (БТЗ) виникають фундаментальні завдання, які необхідно вирішувати. Одно з таких завдань є завдання аналізу стану та управління безпілотним транспортним засобом в умовах гальмування. Вирішення таких завдань вимагає моделювання особливих підходів, які повинні включати:

- по-перше, зв'язки між параметрами, що визначають властивості та математичну модель;
- по-друге, хаотичність моделі в процесі руху та розвитку динамічно небезпечної ситуації.

При складанні розрахункової схеми математичного об'єкта управління формується унікальна математико-операційна форма динамічно небезпечної ситуації (ДНС). Така ситуація проявляється при різних формах гальмування, наприклад, коли виникає блокування коліс, а прослизання порівняно мале в парі лівого та правого борту безпілотного транспортного засобу. Підхід, сформований на огляді та аналізі математичних моделей, сприяє його застосуванню для вирішення завдань та поставлених цілей. Формування моделі йде шляхом навчання конкретних параметрів схеми моделі та вивчення її поведінки як мехатронного перетворювача інформації. При цьому рух сприймається як різновид перетворення координат безпілотного транспортного засобу. З'являються розрахункові та теоретичні координати та відповідно фактичний та бажаний курс безпілотного транспортного засобу. Головним завданням системи керування є ефективне прийняття рішень, які можна простежити. Через необхідність створювати системи, що базуються на

блоках різної фізичної природи, американський математик, один із основоположників кібернетики та теорії штучного інтелекту, Вінер Н. запропонував спосіб кібернетичного управління моделлю та зв'язками об'єкта. Стендфордський дослідницький університет у 1959 році опублікував модель навчання та методу алгоритму адаптації у практико-лабораторних цілях системи інтелектуалізації. У наукових працях вирішуються завдання створення основи інтелектуалізації. Формуються алгоритми обробки інформації, запроваджуються принципи побудови баз зберігання інформації.

## 1.2 Аналіз існуючих методів інтелектуального аналізу вхідної інформації

Формування головної мети комп'ютеризації та алгоритмів інтелектуалізації, інформаційних та інших перемог у мікросистемній техніці та інших суміжних науково-технічних напрямках у XXI столітті викликало різку активізацію пошукових досліджень у галузі інформаційно-обчислювальної техніки з метою комплексування в безпілотних транспортних засобах:

- обчислювальних;
- управляючих;
- мехатронних;
- інших способів обробки інформації.

У найближчому майбутньому планується створити автономні безпілотні транспортні засоби, які виконуватимуть різні транспортні функції за умов невизначеності. При цьому найбільший науково-інженерний доробок створений у компанії GOOGLE з розробки програмно-алгоритмічного забезпечення автономного руху (рисунок 1.1). Сучасним завданням інтелектуалізації є розробка алгоритмів керування автономними безпілотними транспортними засобами у дистанційному режимі (відстань понад 300 000 км) – марсохід.



Рисунок 1.1 – Приклад руху автономного безпілотного транспортного засобу на планеті Марс

На марсоході (рисунок 1.1), наприклад, близько двох десятків камер, що допомагають ідентифікувати поверхню на Марсі, передають дані на Землю. Отримані зображення від камер у рекомендованій роздільній здатності дозволяють приймати оперативні рішення. Компонування схеми комп'ютеризації моделі безпілотного транспортного засобу включає:

- датчик (лазерний сканер);
- радарний сенсор;
- гіроскоп;
- дані геопозиціонування;
- камери відеоспостереження;
- програмне забезпечення.

Сучасні датчики (лазерний сканер) визначають область поряд з безпілотним транспортним засобом на шляху не менше 45 м та формують картину зовнішнього середовища. Лазерний сканер – це підвісний каркас із камерою на транспортному засобі. Центральним місцем серед вхідних пристроїв системи безпілотного керування автономним рухом буде датчик

відстані, розташований на вершині безпілотного транспортного засобу. Така модель є 32 - бітною системою (лазер-датчик), який формує дані параметрів простору (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Приклад 32-бітної системи (лазер-датчик)

Датчики сприяють отриманню даних із геонавігаційної системи. Безпілотний транспортний засіб являє собою декілька датчиків радарного типу, що базуються спереду та ззаду. Генератор створює імпульси, які показують ухил від об'єктів на шляху. Схема показує лише малу складову, яка завжди базується на ухваленні рішення оператором. Камера створює шлях і забезпечує ідентифікацію об'єкта, що може допомогти в розрахунку параметрів руху. Контролер становища шукає географічні дані разом із необхідним стандартним ухилом і віддає назад (за форматом обміну з навігаційними приймачами) з певною частотою. Геостаціонарні дані, що передають зміну від геонавігаційної системи, обробляються в безпілотному транспортному засобі, блок переходить у режим дистанційного керування. Коли сигнал отримано, блок формує сигнал стандартним способом. Параметри визначення положення встановлені будь-якому з коліс. Вхідні



Узагальнюючи технічні можливості засобів цифровізації безпілотного транспортного засобу, можна обґрунтовано вважати, що прогрес алгоритмічних та програмних засобів стабілізації руху піде шляхом отримання та використання додаткової інформації про зовнішнє оточення безпілотного транспортного засобу (рисунок 1.4). Математичні моделі та методи мають бути використані як розширення інформації.



Рисунок 1.4 – Приклад зовнішнього оточення безпілотного транспортного засобу

Головне завдання у навчанні системи – це дозбагачення бази даних та створення ефективних рішень, що базуються на підході до прийняття управління транспортним засобом та створення таких параметрів руху, за яких буде сформовано оптимальний вектор керуючого впливу за наявності невизначеностей.

За сучасною класифікацією, електронні блоки керування безпілотного транспортного засобу можна віднести до класу адаптивних систем розрахунково-логічного типу, що поєднують у собі, поряд із традиційними інформаційною та обчислювальною підсистемами, також «м'які» обчислення. Для детерміністської моделі необхідно заздалегідь знати всі характеристики безпілотного транспортного засобу, які стосуються руху. Гарантованість

інтелектуальної системи керування при взаємодії із зовнішніми факторами і початковими умовами складаються з стійкого режиму руху безпілотного транспортного засобу, що встановився.

Невизначеність параметрів на вході вказує на робастність зовнішніх параметрів, які, у свою чергу, зачіпають керуючі впливу на виконавчому пристрої. У класичному підході керування це призводить до необхідності множинного моделювання процесів керування об'єктом. Тому під надійною роботою інтелектуальної системи керування рухом безпілотним транспортним засобом в даний час мається на увазі таке поняття як робастність.

### 1.3 Інформаційні моделі та технічні засоби для керування безпілотним транспортним засобом

Кінематичні моделі механічних систем детально описуються рухом реальних систем. Ці моделі використовують для моделювання багатьох завдань управління, включаючи теоретичні цілі стійкості автономних безпілотних транспортних засобів, цілей планування, питання керованості. При цьому регульованим параметром для інтелектуальної системи управління є параметр, що відноситься до руху, наприклад, кутова швидкість коліс, поздовжнє або поперечне прискорення. Ці параметри використовуються для вирішення прикладних завдань керування, стабілізації руху безпілотного транспортного засобу на різних поверхнях. Рішення розрахункових завдань характеризується комбінаторним характером, тобто множинністю варіантів кроків обчислень, необхідністю корекції та додавання даних у міру обчислень.

З іншого боку, при вирішенні таких завдань використовуються експертні моделі щодо предметної галузі, закладені фахівцями-експертами, та моделі пошуку (формальні та евристичні). За підсумками досвіду

створення інтелектуальних систем керування виділено приблизно 8 - 10 типів завдань, котрим технології штучного інтелекту визначають ефективне отримання рішень. У загальному випадку клас інтелектуальних завдань можна розбити на:

- задачі аналізу;
- задачі синтезу;
- комбіновані задачі.

В даний час існує безліч моделей керування рухом безпілотним транспортним засобом. Розглянемо деякі з них. Інформаційний підхід, що склався на початку ХХІ століття, виходить з адаптивного вибору провідної моделі, що відповідає зовнішній обстановці та виду задачі, що розв'язується.

Залежно від таких характеристик, як:

- однорідність даних;
- обсяг даних;
- повнота даних;
- вид обчислень (розрахунок, пошук, імітація, еволюція та ін.);
- вид завдання керування;
- точність прогнозу;
- ступінь паралелізму обчислень.

Математичний апарат може бути обґрунтований та вибраний для поточних умов руху. Головне завдання при цьому може бути в області дострокового припинення обчислень на основі масиву даних, що надходять у безпілотний транспортний засіб, та своєчасної видачі керуючих рішень/рекомендацій щодо стабілізації руху. Що стосується управління і координації рухомого безпілотного транспортного засобу (на відміну від об'єктів з «повільною» зміною зовнішньої обстановки), інтелектуальні принципи обробки інформації ґрунтуються на достроковому прийнятті рішення та узгодженому обліку різномірних характеристик. Це докорінно

відрізняє расчётнологічний (детерміністський) підхід, у якому реакція потрібна на сформований некерований рух безпілотним транспортним засобом.

Моделі штучного інтелекту розглядають завдання прийняття рішень інтелектуальною системою керування рухом безпілотним транспортним засобом як пошукове завдання, згідно з яким потрібна інформація про поточний стан:

- погоди;
- дорожнього покриття.

Це необхідно для того, щоб спрогнозувати появу некерованого руху безпілотного транспортного засобу і запобігти цьому в початковій фазі та не допустити розвитку динамічно небезпечної ситуації.

При такому підході завдання прийняття рішень сприймається як завдання пошуку у просторі станів. Процедура пошуку зводиться до генерації можливих станів стійкості транспортного засобу з урахуванням завдання формування кращих рішень. Мета керування транспортним засобом пропонується у наступному форматі:

- заданий деякий початковий стан, або підмножина таких станів, або задано правила опису вхідних параметрів;
- задано велику кількість правил перетворення параметрів;
- необхідно провести пошук таких послідовників та бази знань, які будуть ефективні і оптимальні за параметрами вхідних та вихідних змінних.

Якщо елементи завдання прийняття рішень не допускають змін у процесі пошуку, то таке завдання сприймається як замкнуте завдання. Таким прикладом є система «транспортний засіб – зовнішнє неорганізоване середовище», для якої можлива:

- модифікація структури існуючих правил;
- додавання нових правил;
- видалення існуючих правил.

Ця можливість створює передумови для змістовної адаптації експертних знань щодо критичного виду руху безпілотного транспортного засобу. У загальному випадку, завдання прийняття рішень у динамічній відкритій формі передбачає узгоджену зміну всіх передбачених у її описі компонент для отримання допустимих (кінцевих) рішень з урахуванням передісторії кроків обчислень та передісторії зміни станів.

#### 1.4 Методи взаємодії системи «безпілотний транспортний засіб – покриття» в умовах невизначеності

Нейронно-нечіткі системи керування – це важлива частина створення системи інтелектуального аналізу даних, що описується нелінійно-параметрично за допомогою лінгвістичних змінних. Вони навчаються на завданнях і описують закони – у цьому їхня корисність у порівнянні з класичними алгоритмами синтезу. Якщо практично більша частина моделі та алгоритми керування залежать від руху безпілотного транспортного засобу, то й формування динамічно небезпечної ситуації буде головним нелінійним підходом у всіх завданнях, які складно вирішуються і описуються природним способом (мовою) для інженера-розробника.

Головним параметром нейронно-нечітких систем управління буде прогнозування параметрів динамічно небезпечного руху, що сприяє акумулюванню та формуванню бази даних, взятих з тестового поля в ході експериментів. Нейронно-нечітка система управління, навчена на деякому полі даних, сприяє хорошему отриманню результатів тільки при подачі на її вхід параметрів, які відносяться до тестового підмножини. У сукупності з цим завданням тестування поля та створення генерації вхідних параметрів – створення апарату нейронно-нечіткої системи управління буде неефективним.

Відмінною рисою будуть форми розмежування параметрів на

детерміновані та випадкові, коли інженер-розробник шукає алгоритм вирішення завдання. Нейронно-нечітка система управління навчається і визначає різні закони у тестовій формі та переносить їх, не визначаючи як частину всього алгоритму. При цьому розв'язання задачі управління об'єктом не шукається математично-аналітичними підходами, а формується в області заданого поля у вигляді чисельного кінцевого блоку і називається – розважуванням. Підходи будуть різними та вагові параметри базуватимуться на різних нелінійних законах.

Знаходження потрібного та ефективного параметра управління об'єктом залежить від різних параметрів:

- розмірність проекту;
- підходу до тестування;
- створеної моделі алгоритмів пошуку.

Для того, щоб нейронно-нечітка система управління об'єктом сприяла оцінці динамічно небезпечного руху, її потрібно протестувати. Тестування нейронно-нечіткої системи управління об'єктом перетворюватиметься шляхом інтерактивного алгоритму зміни синоптичної ваги та порогових - значень параметрів. Використовуються базові алгоритми тестування.

При базовому тестуванні незалежно від параметрів вхід = вихід, результатом будуть вектори  $x$ , описані як вихід = вхід  $d_i$ . При цьому нейронно-нечітка система управління б'єктом виступає в ролі універсального апроксиматора навчальних даних  $(x, d)$ , оскільки до її складу входить нейронна мережа. Навчання проводять на фактичних даних моніторингу динаміки параметрів, що описують виникнення динамічно-небезпечного руху на дата-центрі. У процесі навчання нейронної мережі важливо не допускати такі явища, як «недонавчання» або «перенавчання» (зайвого припасування моделі до даних) нейронної мережі. У першому випадку модель виявиться недостатньо детальною, а в другому –не набуде здатності до узагальнення. До перенавчання нейронної мережі може спричинити

безконтрольне зменшення помилки навчання в процесі тренування нейронної мережі. Мережі з великою кількістю нейронів здатні моделювати складніші функції, але вони схильні до перенавчання. При цьому відбувається адаптація нейронної мережі до випадкової мінливості, тобто до шуму. Недостатня кількість нейронів може стати причиною малої гнучкості нейронної мережі для процесів моделювання. Таким чином, на якість, що набуває нейронна мережа в результаті навчання, впливають число нейронів і тривалість навчання.

Для навчання нейронно-нечіткої системи управління об'єктом загалом використовують дані моніторингу динамічно-небезпечного руху, що подаються на вхід нейронної мережі. При цьому важливо, щоб у даних існувала якась закономірність. Існує стандартна процедура підготовки вихідних даних, прийнята в нейронно-нечіткій системі керування об'єктом. Ця процедура полягає в наступному – безліч наявних даних випадковим чином розбивається на дві підмножини:

- навчальне;
- тестове.

Навчальна множина, у свою чергу, розбивається на дві незв'язані підмножини:

- оцінну, що використовується для вибору моделі,
- контрольну.

Рекомендована стандартна процедура використання крос-перевірки (на контрольній підмножині) у процесі навчання нейронної мережі та тестування (на тестовій множині) отриманої моделі, призводить до необхідності виключення з процесу навчання нейронної мережі не менш як половина даних. Однак такий підхід далеко не завжди прийнятний при прогнозуванні динамічно-небезпечного руху, оскільки обсяг вихідної інформації, як правило, обмежений, а виключення значної частини даних моніторингу з процесу безпосереднього навчання нейронної мережі рівноцінно втраті цієї

інформації. Тому такий варіант моделювання можна рекомендувати лише за наявності досить великих обсягів даних, коли розрідження нейронної мережі в процесі резервування контрольної та тестової множини не призведе до суттєвого зниження адекватності моделі.

Нейронні мережі дуже стійкі до зашумлених даних, якими є дані моніторингу динаміки виникнення динамічно-небезпечного руху. Шум в них може бути представлений не тільки у вигляді випадкових похибок вимірювань показника, але і як випадкова складова мінливості останнього. При цьому, як відомо, частка випадкової мінливості показника може бути значною або переважаючою. Однак, чим більший рівень шуму в даних (випадкова складова), тим складніше завдання виділення корисного сигналу (закономірної складової) і більше має бути навчальна множина (кількість вимірів і т.д.). У таких умовах необмежена мінімізація дисперсії залишків і прагнення максимально наблизити модель нейронно-нечіткої системи управління об'єктом до необхідних даних, може призвести до того, що поряд із закономірною складовою нейронна мережа почне моделювати шум.

Для побудови моделі нейронно-нечіткої системи управління об'єктом по статистичній базі даних, зазвичай, застосовується два види нейронних мереж:

- радіальних базисних функцій (RBF – мережі);
- багатосаровий персептрон (MLP-мережі).

Перша відрізняється властивістю локальної апроксимації та легкою навченістю, друга характеризується глобальною апроксимацією і може мати значні проблеми у процесі навчання. В силу зазначених властивостей, MLP-мережу можна рекомендувати в контексті розв'язання задачі прогнозування динамічно-небезпечного руху, для виявлення загального тренду в даних та екстраполяції значень просторової змінної за область відомих даних. Для більш детального розпізнавання структури навчальної множини краще

підійде RBF-мережа. Тому завдання виділення закономірної складової із сильно зашумлених даних є найбільш топологічно близьким до архітектури саме цієї нейронної мережі.

Створюючи нейронні мережі з різним числом нейронів та навчаючи їх, отримаємо відповідні варіанти моделей апроксимації вихідних даних, що відрізняються ступенем близькості до цих даних, картиною розподілу залишків та величиною їхньої дисперсії. Для кожного варіанта моделі оцінюємо розподіл залишків  $r(x)$  і зупиняємось у тому з варіантів, який найкраще відповідає нормальному закону розподілу (вибраному критерію). При навчанні нейронно-нечіткої системи управління об'єктом вхідна змінна буде представлена координатами « $x$ » точок вимірювання показника, а вихідна – відповідними значеннями  $u(x)$  показника. Після навчання нейронна мережа набуває здатності генерувати модельні значення закономірної складової у будь-яких точках області визначення просторової змінної. Залишки визначаються як різниці між значеннями показника у пробах та модельними значеннями (вибірковою оцінкою математичного очікування випадкової функції  $U(x)$ ).

Формалізація теорії та прикладної задачі в рамках проектування системи управління об'єктом з інтелектуальним аналізом даних відображається у прояві точного аналізу під час використання бортових обчислювальних засобів. Однак масогабаритні тактико-технічні характеристики безпілотних транспортних засобів висувають вимоги до апаратної реалізації алгоритмів, тобто орієнтуються на вставку спеціалізованих мікроконтролерів із програмним забезпеченням для інтелектуальної системи стабілізації руху безпілотних транспортних засобів. Тому для мінімізації масогабаритних характеристик безпілотних транспортних засобів необхідна вже готова графо-продукційна модель, яка сформувала базу даних рішень для алгоритмів керування.

## 1.5 Огляд структури стабілізації безпілотного транспортного засобу у процесі руху

Взаємодія системи «транспортний засіб – покриття» можна формалізовано уявити завдяки конфліктно-параметричному блоку. Сформовано кілька шляхів аналізу конфліктної ситуації.

Шлях № 1. Сформувати взаємодію об'єктів у математичному вигляді з урахуванням параметрів і аналізу ситуації та впровадити ефективні управлінські параметри, що впливають на взаємодію, зв'язки, рішення і висновок «конфліктування». Вирішені моделі займатимуть більшу частину обчислення, але на виході буде виходити ефективно оптимальне управління.

Шлях № 2. Припустимо, що об'єкти, зв'язки та блоки розкриті і маркування параметра дозволило спроектувати елементарний об'єкт для прогнозування заключення конфлікту. Рішенням буде швидкий, але специфічний алгоритм.

Проектування схеми конфліктування означає, що реалізований алгоритм контролю математично-параметричної задачі матиме наступні ознаки:

- складні схеми, взаємопов'язані та багатопрофільні. Так як їх атрибутика дистанційна і незалежна, потрібне створення параметричної системи зі всілякими областями даних, які полягатимуть в єдиному підході;
- оперуючи між собою об'єкти будуть пов'язані і відмінні параметри означають безперервне коригування графової моделі, що у більшості випадків формує рішення та висновок ефективного вихідного параметра;
- об'єкти рухаються в просторово-тимчасовому континуумі або в функціонально-параметричному полі системи. Математично-фізичний аспект схеми блоку керування може містити параметри схем;

- аналітично-практичні застосування та параметричні атрибути конфлікту утворюють загальний взаємозв'язок.

В даний час для формалізованого опису конфліктів розроблено спеціальний математичний апарат – теорія ігор. План рівнодії (рівноважний стан) буде областю стійкості зв'язку одного та іншого об'єкта. У зв'язку з тим, що рішення рівнодії буде ефективним для будь-якого з об'єктів – у рівнодії шляху вирішення будь-якого об'єкта прогнозує найкращий варіант.

Один із способів опису ігрової моделі конфліктної ситуації полягає в тому, що розглядаються всі можливі стратегії сторін та визначаються виграші (програші), що відповідають будь-якій можливій комбінації стратегій. Ці результати виражають у вигляді матриці, яку називають «платіжною» матрицею.

Рядки та стовпці платіжної матриці відповідають різним стратегіям сторін, а її елементи – виграші (програші) сторін. Стосовно завдання опису взаємодії системи «транспортний засіб-покриття» виникає невизначеність, зазначена нульовим параметричним вектором, в якому враховується вектор параметрів керування безпілотним транспортним засобом. Параметри будуть впливати на інший об'єкт, але від реального об'єкта, який може бути зовнішнім середовищем. У деяких завданнях прогноз об'єкта визначатиметься випадковим математичним очікуванням, але параметри об'єкта невизначені. Вирішені параметри математичних очікувань будуть параметри довілля і будуть критерієм прийняття рішення. Тим не менш, для методів вирішення конфлікту та пошуку стану рівноваги необхідно знати розподіл кожного з об'єктів.

Розглянутий підхід опису конфліктної взаємодії «транспортний засіб-покриття» наштовхується на низку обмежень до практичного застосування:

- важко описати всі можливі стани другого об'єкта (покриття);

- апріорні ймовірності потенційних станів гравців (розподіл ймовірностей) невідомі, отже потрібно проводити статистичні випробування;
- дані, які описують конфліктну ситуацію, є різнорідними (детермінованими, випадковими, чіткими, нечіткими тощо).

Для усунення зазначених обмежень доцільно використовувати інтелектуалізацію параметрів стану. Інтелектуальна обробка даних реалізована у динамічній експертній системі. Аналіз мети (база побудови цілеспрямованої діяльності) ґрунтується на варіантах рішень з бази знань, отриманих за результатами моделювання. Способи аналізу структуруються наступним чином: на основі базових параметрів стимуляції певних даних, які укладені у вихідній базі даних, інтелектуальна система керування за створеними параметрами оперативно створює коливання контуру, генерує вхідні = вихідні параметри та оцінює ефективні відповіді на виході.

Згідно з ефективними рішеннями створюється об'єкт керування.

Вихідними параметрами будуть значення, які порівнюються з оцінкою. При формуванні відхилень на основі суб'єктивного аналізу прогнозування засвоюється значення вхідного параметра та приймається вектор вихідних параметрів (управління). При відхиленні вихідного параметра формуються вирішені раніше параметри. Якщо значення немає, коригуються вхідні параметри (мета). Для інтелектуальної системи керування процесом гальмування безпілотним транспортним засобом пропонується підхід до синтезу головної мети, який складається з декомпозиції на безліч локальних підцілей (дерево цілей).

При цьому збільшення стійкості руху безпілотного транспортного засобу буде досягнуто завдяки ефективному алгоритму, заснованому на базі розроблених правил керування об'єктом руху.

Збереження об'єктом стійкості руху відбувається завдяки рішенням конкретних завдань. Також створені правила для колісної пари при поганій якості зчеплення з покриттям поверхні, якою рухається об'єкт керування. Реалізація інтелектуальної системи керування формується разом із наповненням бази даних, яка у свою чергу є на даному етапі невизначеною, причому містить як векторну, так і параметричну складову математичної моделі.

## 2 ГРАФОВА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

### 2.1 Глосарій математичних та алгоритмічних процесів прогностичної оцінки стану безпілотного транспортного засобу

У сучасних завданнях керування складними технічними системами для прийняття своєчасних і обґрунтованих рішень необхідна обробка даних, що синхронно-асинхронно надходять, про параметри автономного безпілотного транспортного засобу та характеристик зовнішнього середовища (рисунок 2.1).

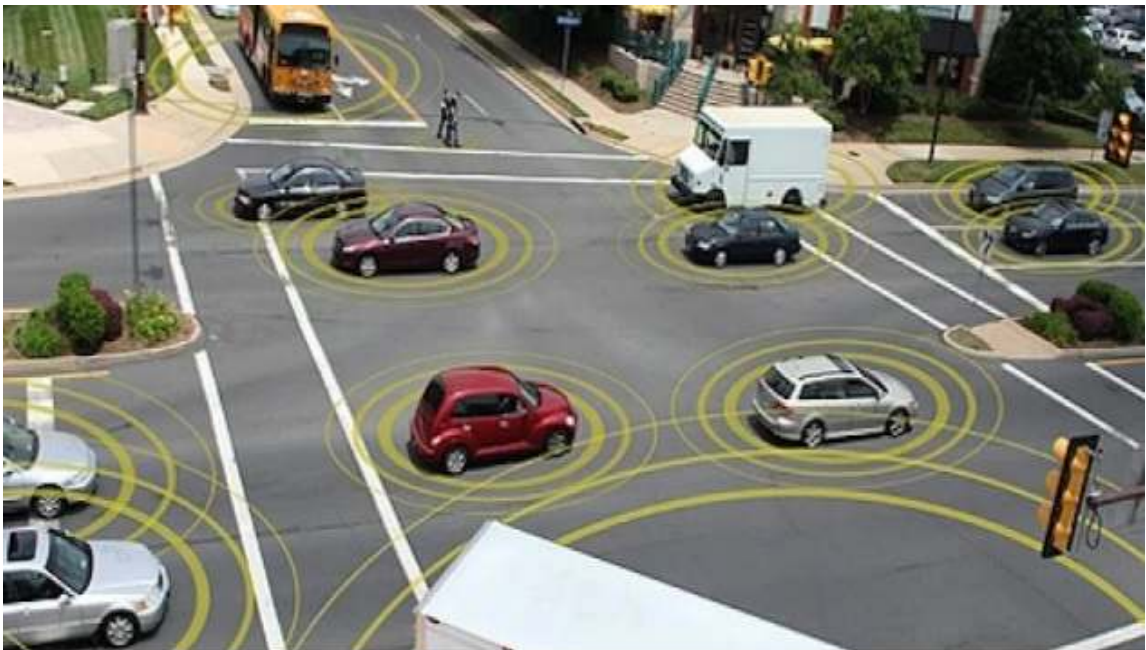


Рисунок 2.1 – Взаємодія безпілотного транспортного засобу із зовнішнім середовищем

В даний час у розвинених країнах світу ведуться розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що входять до складу

інтелектуальних систем керування безпілотними транспортними засобами (рисунок 2.2).

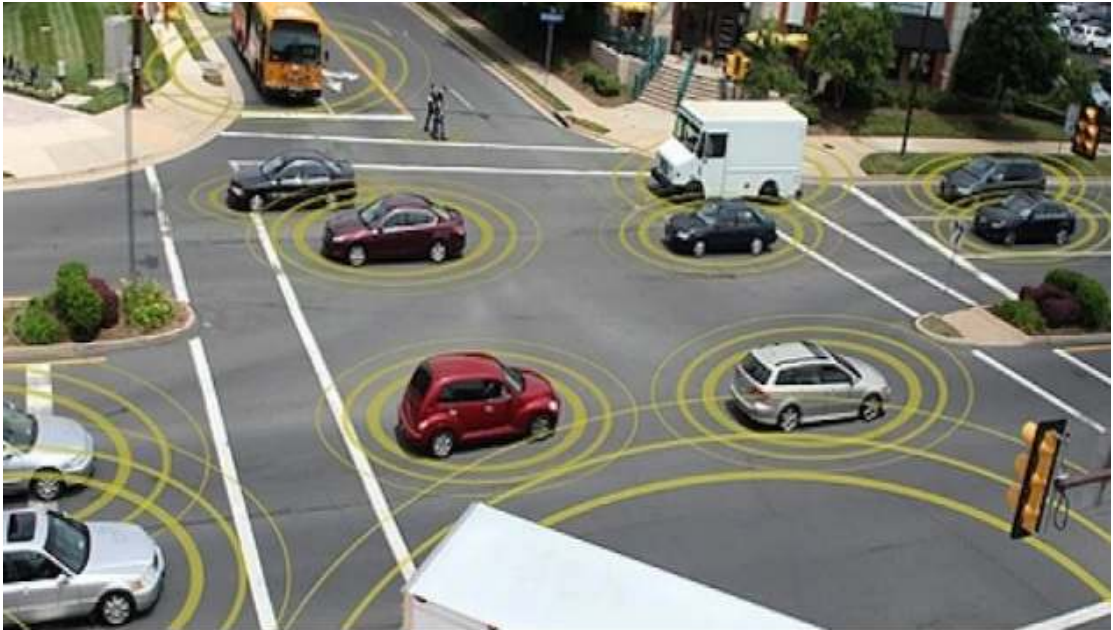


Рисунок 2.2 – Інтелектуальні системи керування безпілотними транспортними засобами

Базовими елементами таких інтелектуальних систем керування безпілотними транспортними засобами будуть інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень та системи, що вбудовуються. Для створення високошвидкісних алгоритмів і робостних моделей вводиться такий глосарій:

- алгоритм;
- підхід;
- формат;
- стан;
- ситуація.

Управління рухом безпілотного транспортного засобу характеризується набором параметрів руху, що асинхронно змінюються, таких як:

- стани довкілля;
- стан дорожнього покриття.

Стандартні алгоритмічні конструкції позбавлені найважливішої властивості паралельних обчислень – природна підтримка конструктивних процесів, які необхідні для обробки масивів даних, що асинхронно виникають, доповнених координатно-прив'язаною інформацією. Алгоритмічна реалізація процесів контролю руху безпілотного транспортного засобу призводить до неприпустимих рішень зворотного завдання. Це обґрунтовується тим, що підходи до вироблення керування рухом безпілотного транспортного засобу використовують дерево аналізу значень. Формалізація підходів потрібна для перебору видів динамічно-небезпечного руху. Таким чином, паралельність перебору може бути реалізована, якщо застосувати графо-продукційну модель. У зв'язку з цим виникає об'єктивна необхідність вибору моделі паралельної генерації рішень у процесах аналізу параметрів управління рухом безпілотного транспортного засобу.

2.2 Математичний апарат графової моделі керування рухом транспортним засобом при розвитку динамічно-небезпечної ситуації

З позиції прикладного застосування графової моделі на основі продукційного підходу модель характеризується можливістю структурного розширення процедур аналізу комбінацій різнорідних змінних у системі «транспортний засіб-зовнішнє неорганізоване середовище». Продукційні системи характеризуються необхідними умовами для паралельних асинхронних обчислень:

- однорідність складу правил;
- модульність структури;
- гнучкість реалізації схеми управління;
- природний паралелізм потоку даних;
- легкість декомпозиції системи на частини.

Продукція – математичний вираз, заданий над дискретними об'єктами

(словами, наборами) у робочому та службовому алфавітах та реалізує операції пошуку та заміни над вхідним об'єктом, за умови позитивного пошуку. Виходячи з цього, продукція переглядає об'єкт, що обробляється  $S$ , ліворуч і виявляючи позицію (першого) входження пошукового зразка (шаблону), замінює його на об'єкт – модифікатор. У загальному вигляді продукція являє собою:

$$O \rightarrow M, \quad (2.1)$$

де  $O$  – (об'єкт – шаблон) слово у робочому алфавіті чи його розширенні, що задає власний зразок продукції;

$M$  – власний модифікатор продукції;

$\rightarrow$  – службовий символ.

Спрацьовування продукції – це обчислювальний процес перетворення дискретного оброблюваного слова за наступною схемою:

$$O \rightarrow M, S = \begin{cases} LOM, S' = LPM \\ \text{Nil}, S' = LOM \end{cases}. \quad (2.2)$$

Для подальших обчислень серед продукційних моделей вибирається обчислювальна модель, яка має дозвільну логіку виконання правил. Спрацьовання правил за умовою лівої частини дозволяє природним чином розпаралелити обчислення та зменшити час на прогноз.

Для формалізації правил при розвитку динамічно-небезпечної ситуації розглядається ситуація екстреного гальмування безпілотним транспортним засобом з урахуванням показників зовнішнього середовища. Тут виділяються наступні стани системи «транспортний засіб-зовнішнє неорганізоване середовище» для схеми управління безпілотним транспортним засобом. Ієрархія станів у графі «безпілотний транспортний засіб-зовнішнє середовище» представлена на рисунку 2.3.

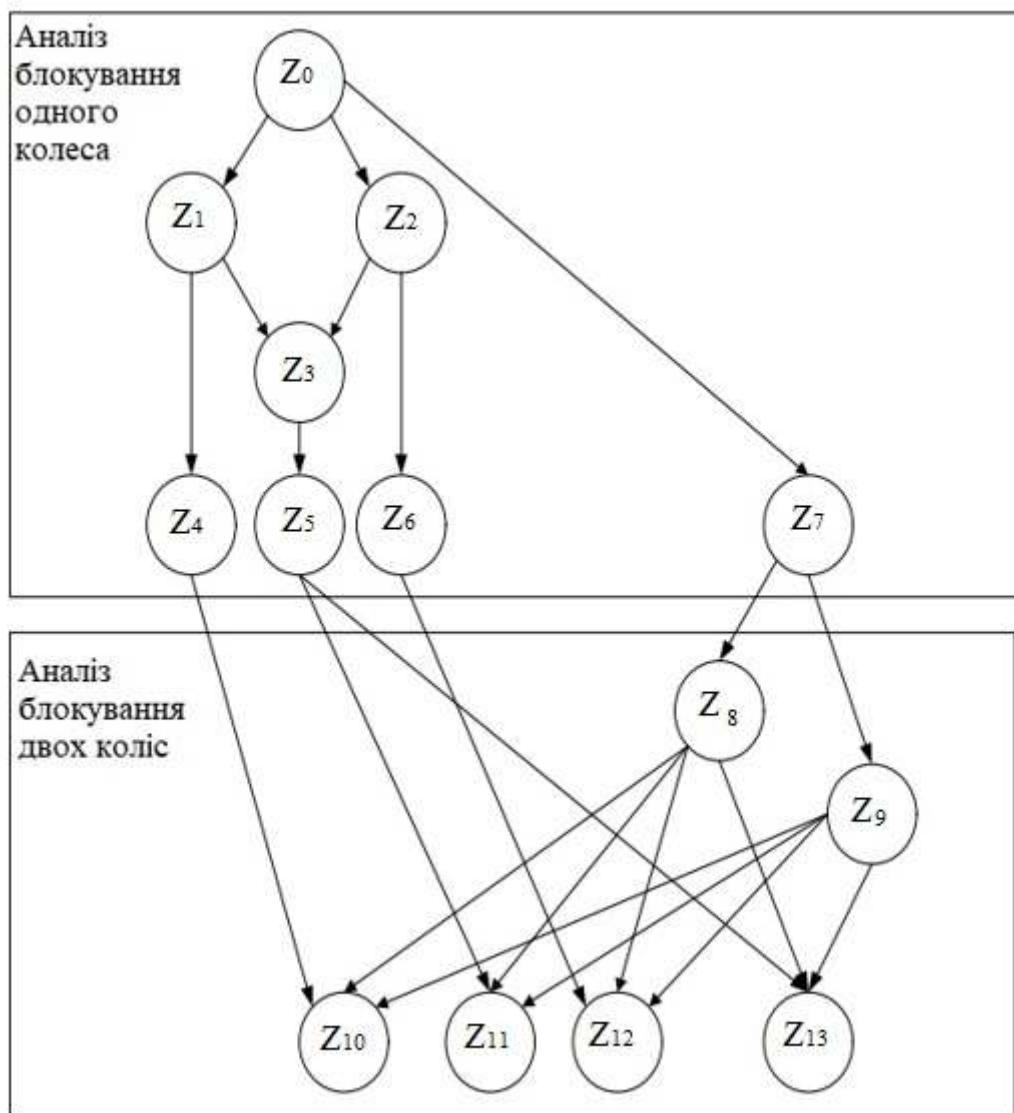


Рисунок 2.3 – Графова модель керування рухом безпілотним транспортним засобом

Опис позначень на графовій моделі наступний:

- штатне –  $Z_0$  ( $Z_{NORMAL}$ );
- пограничне –  $Z_1, Z_2; Z_3$ ;
- нестабільне –  $Z_4, Z_5, Z_6, Z_7$ ;
- небезпечне –  $Z_8, Z_9$ ;
- критичне –  $Z_{10}, Z_{11}; Z_{12}$ ;
- некероване –  $Z_{13}$  ( $Z_{CRASH}$ ).
- штатний стан –  $Z_0$  ( $Z_{NORMAL}$ );



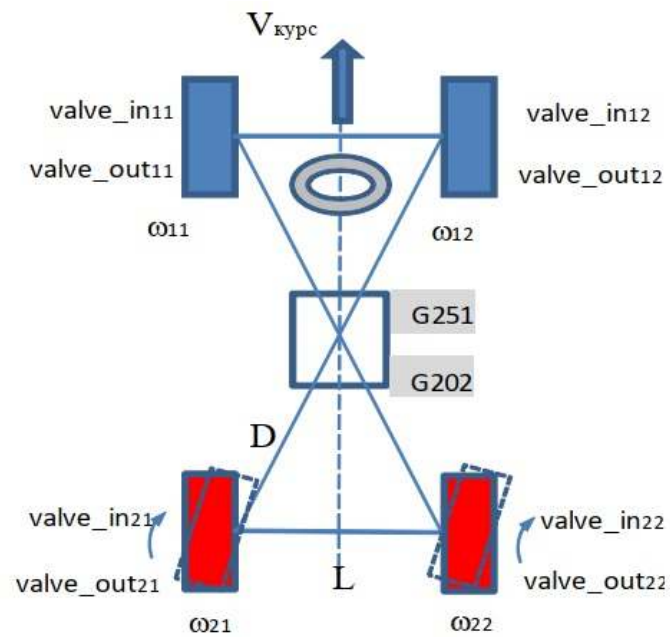


Рисунок 2.5 – Кінематична схема підвіски транспортних засобів із блокуванням двох задніх провідних коліс

Змінні для опису станів системи – «транспортний засіб – зовнішнє середовище».

Перший параметр системи – «транспортний засіб». Слово стан транспортного засобу конкретизується як –  $WordVehicle = MATRIX\_W * MATRIX\_K$ . Далі – положення транспортного засобу, що визначається за датчиками  $G_1, G_2$ .

Другий параметр системи – «зовнішнє середовище». Виходячи з датчиків і засобів об'єктивного вимірювання або якісної оцінки фізичних параметрів зовнішнього середовища, що є в транспортному засобі, вводяться такі змінні як:

- температура повітря за бортом транспортного засобу – Temp;
- інтенсивність випадання опадів на основі датчика дощу чи снігу – Rain/Snow (R/S);
- змінна щільності потоку транспортних засобів – VehicleThread;
- відстань до попутного/зустрічного об'єкту по курсу – Distance\_Vehicle (DC);

- однорідність структури покриття – Roughness (RN);
- параметр DRIVER - DR визначається станами {NoName, New, Proff}={A0,A1, A2}. Стартове значення DR = NoName.

Поведінка параметра DRIVER – DR залежить від оцінки його стану інтелектуальною системою управління рухом і динамічно змінюватиметься, що дозволяє прогнозувати поведінку безпілотного транспортного засобу в динамічно-небезпечних ситуаціях.

Вхідні змінні, що визначаються діями параметра DRIVER:

- акселератор газу – Gaz;
- стоп сигнал – STOP;
- поточний кут повороту керма – ANGLEDRIVE (Angle);
- поточна швидкість повороту керма – wDRIVE.

Вихідні змінні, що визначаються для параметра DRIVER:

- необхідний кут повороту керма – ANGLEDRIVE (Angle);
- необхідна швидкість повороту руля – wDRIVE;
- лінійна швидкість безпілотного транспортного засобу – Vhicl;
- стоп сигнал – STOP.

Змінна  $V_{\text{VEHICLE}}$  визначається через значення змінних Gaz, STOP. При вирішенні задачі управлінням руху безпілотним транспортним засобом, за допомогою методів нечіткої логіки не потрібно знання точної кінематичної моделі руху безпілотного транспортного засобу. Достатньо мати об'єктивні якісні оцінки зовнішнього середовища та стану безпілотного транспортного засобу в ньому, щоб описати поведінки на основі нечітких продукційних правил типу:

$$\text{ЯКЩО } a \text{ ТО } b, \quad (2.3)$$

Продукційні правила, за рахунок достатньої простоти та автономності реалізації, дозволяють одночасно перевіряти безліч умов та видавати рекомендації до моменту переходу або виникнення динамічно-небезпечної

ситуації, особливо при екстремому гальмуванні, пов'язаному з блокуванням одного або кількох коліс. Виходячи з особливостей системи «транспортний засіб-зовнішнє середовище» структура продукційного правила має вигляд:

$$Z_{OLD}, A_{OLD}, V_{CAR}, \text{Angle}, \text{WordCar}, \text{Meteo}, \text{Way} \rightarrow Z_{NEW}, A_{NEW}, \text{Ind}, \quad (2.4)$$

де  $Z_{OLD}$ ,  $Z_{NEW}$  – поточний чи новий стан інтелектуальної системи управління безпілотним транспортним засобом;

$A_{OLD}$ ,  $A_{NEW}$  – поточний або рекомендований стан параметра DRIVER - DR в інтелектуальній системі управління безпілотним транспортним засобом;

Meteo – метеорологічні умови {Temp, Rain/Snow};

Way – умови {VehicleThread, Distance\_Vehicle, Roughness};

Ind – рекомендовані індикатори для оператора {ANGLE,  $V_{VEHICLE}$ , STOP/GAZ};

Angle – кут повороту керма в безпілотному транспортному засобі {N, Left, Righ}.

Головна особливість складу продукційного правила – трактування лівої та правої частин як теоретико-конструктивних об'єктів. Це означає, що кожна змінна має фіксоване місце, тому на відміну від рядкових чи спискових структур (конструктивні об'єкти) пропуск призначаючих змінних фактично відображається єдиним службовим значенням Nil-not will. Порожнє значення дозволяє виключити відому для продукційних систем проблему часткового перетину конструктивних об'єктів та надмірні витрати часу на їхній граматичний розбір. Розглянемо правила для блоку «аналіз блокування одного ведучого колеса».

Правило (2.5) описує переходи у графі  $Z_0 \rightarrow Z_1$  при несприятливих метеоумовах, що описуються низькою температурою, щільністю випадання опадів (Temp = L, R/S = HUM). Основний аналізований та керуючий

параметр –  $V_{\text{VEHICLE}}$ . Рекомендації приймаються при нейтральному положенні керма і відсутності моменту, що розвертає:

$$\begin{aligned} & Z_0, A_0, (V_{\text{CAR}} = H), \text{NILL}, \text{WordCar} = 0, (\text{Temp} = L \& (\text{R/S} = H/M)), \text{NILL}, \\ & \rightarrow Z_1, A_0 (V_{\text{CAR}} = M), \text{off} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Правило (2.6) визначає перехід у графі  $Z_0 \rightarrow Z_2$  за несприятливих умов – однорідність структури покриття, а також щільність автопотoku та відстань до найближчого транспортного засобу ( $RN = L$ ,  $DC = L$ ,  $CT = H$ ). Основний аналізований та керуючий параметр –  $V_{\text{VEHICLE}}$ :

$$\begin{aligned} & Z_0, A_0, (V_{\text{CAR}} = H), \text{NILL}, \text{WordCar} = 0, \text{NILL}, (RN=L, DC=L, CT=H)) \\ & \rightarrow Z_2, A_0 (V_{\text{CAR}} = M, \text{NILL}), \text{off} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Правило (2.7) визначає перехід у графі  $Z_0 \rightarrow Z_7$  за несприятливих метеорологічних умов. Аналізовані змінні – щільність випадання опадів, однорідність структури покриття, а також відстань до найближчого транспортного засобу ( $R/S = \text{HUM}$ ,  $RN = \text{LUM}$ ,  $DC = L$ ). За відсутності моменту, що розвертає, основний аналізований і керуючий параметр –  $V_{\text{VEHICLE}}$ . Відсутні параметри температури та щільності автопотoku компенсуються комбінацією значень змінних  $R/S = \text{HUM}$ ,  $RN = \text{LUM}$ ):

$$\begin{aligned} & Z_0, A_0, (V_{\text{CAR}} = H), \text{NILL}, \text{WordCar} = 0, \left(\frac{R}{S} = H \vee M\right), (RN=L, DC=L * D) \\ & \rightarrow Z_7, A_1 (V_{\text{CAR}} = M, \text{GAZ} = M), \text{off} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Правило (2.8) визначає перехід у графі  $Z_1 \rightarrow Z_3$ . Аналізовані змінні – щільність випадання опадів, однорідність структури покриття, а також відстань до найближчого транспортного засобу ( $R/S = \text{HUM}$ ,  $RN = \text{LUM}$ ,  $DC$

= L). За відсутності моменту, що розвертає, основний аналізований і керуючий параметр –  $V_{\text{VEHICLE}}$ . Відсутні параметри температури та щільності автопотoku компенсуються комбінацією значень змінних ( $R/S = \text{HUM}$ ,  $RN = \text{LUM}$ ):

$$Z_1, A_2, (V_{\text{CAR}} = M), \text{NIL}, \text{WordCar} = 0, \left(\frac{R}{S} = \text{HvM}\right), (RN = \text{LvM}, DC = L * D) \quad (2.8)$$

$$\rightarrow Z_3, A_2 (V_{\text{CAR}} = M, \text{STOP} = L), \text{off}$$

Правило (2.9) визначає перехід у графі  $Z_1 \rightarrow Z_4$ . В состояниях оператора  $A_1$  або  $A_2$  при одночасно несприятливих метеорологічних умовах і матриці кутових швидкостей  $MW$  не перевищує порога в  $24\Delta w$  на високій швидкості транспортного засобу ( $V_{\text{VEHICLE}} = H$ ) здійснюється перехід по графу в стан  $Z_4$  з видачею 2-х рекомендацій: зменшити швидкість  $V_{\text{car}} = M$  і виконати протидію потенційному заносу шляхом цільової зміни кута рульового колеса. У разі збігу поточного курсу та потенційного розвороту транспортного засобу для нейтралізації розвороту видається рекомендація про підгальмовування ( $\text{STOP} = L$ ) та включення алгоритмів курсової стійкості  $\text{ESP} = \text{On}$ :

$$Z_1, A_1, (V_{\text{CAR}} = H), N, (MV \leq 24 \leq w, 0, 0), (\text{Temp} = L, \frac{R}{S} = \text{HvM}) \quad (2.9)$$

$$\rightarrow Z_4, A_1 (V_{\text{CAR}} = M, \text{GAZ} = M), \text{off}$$

Правило (2.10) описує перехід у графі  $Z_2 \rightarrow Z_3$ . У разі явного виникнення занесення при ненульовій матриці  $MW$  також здійснюється перехід з  $Z_2$  в стан  $Z_3$  з видачею рекомендації оператору протидії заносу шляхом цільової зміни кута рульового колеса. Як обов'язкова реакція – включення системи  $\text{ABS} = \text{On}$ :

$$Z_2, A_2, (V_{CAR} = H), Nil, (MV \neq 0), (G = \text{left}), (Temp = L, \frac{R}{S} = HvM) \quad (2.10)$$

$$\rightarrow Z_4, A_1 (V_{CAR} = M, GAZ = M), \text{off}$$

Правило (2.11) описує перехід у графі  $Z_2 \rightarrow Z_6$ . при несприятливих умовах із заблокованим одним колесом. Аналізовані змінні – низька температура, щільність випадання опадів, кут повороту керма, а також матриця пар кутових швидкостей. Основні аналізовані та керуючі параметри –  $V_{VEHICLE}$ ., Angle, GAZ/STOP:

$$Z_2, A_1, (V_{CAR} = H), N, (MV \leq 24 \leq w, 0, 0), (RN = L, DC = L, CT = H),$$

$$(Temp = L, \frac{R}{S} = HvM) \rightarrow Z_6, A_1 (\text{Left}, (V_{CAR} = M, GAZ = M), \text{off}) \quad (2.11)$$

Правило (2.12) описує перехід у графі  $Z_3 \rightarrow Z_5$ . У станах оператора  $A_1$  або  $A_2$  при одночасно несприятливих умовах і матриці кутових швидкостей  $MW$ , що не перевищує порогу в  $24\Delta w$  на високій швидкості ТЗ ( $V_{VEHICLE} = H$ ), здійснюється перехід по графу в стан  $Z_5$  з видачею 2-х рекомендацій: зменшити швидкість ( $V_{CAR} = M$ ) і виконати протидію потенційному заносу шляхом цільової зміни кута рульового колеса. Зменшення швидкості рекомендується виконати шляхом зменшення значення акселератора газу ( $GAZ = M$ ), тому що на поганому покритті підгальмовування недоцільно. У разі збігу поточного курсу та потенційного розвороту транспортного засобу, для нейтралізації розвороту видається рекомендація про підгальмовування ( $STOP = L$ ) та включення алгоритмів курсової стійкості ( $ESP = On$ ). У разі невиконання рекомендацій щодо зменшення швидкості у критичних випадках збігу курсу та кута розвороту, для підтримки курсу видаються рекомендації щодо зниження швидкості ( $V_{VEHICLE} = LVM$ ) через зменшення акселератора газу ( $GAZ = LVM$ ) та включення алгоритмів курсової стійкості ( $ESP = On$ ). Якщо за рекомендацією швидкість зменшується до ( $V_{VEHICLE} =$

M), то надалі управління швидкістю виконується шляхом зміни подачі газу (GAZ = M):

$$\begin{aligned} & Z_3, A_1, (V_{CAR} = H), Nil, (MV \neq 0), (G = \text{right}), (RN = L, DC = L, CT = H), \\ & \rightarrow Z_5, A_1 (\text{Left}, (V_{CAR} = M, GAZ = M), \text{On}) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Для аналізу блокування одного або двох коліс безпілотного транспортного засобу досліджено графову модель управління рухом безпілотного транспортного засобу. Ця модель дозволяє інженеру-розробнику спроектувати алгоритм роботи вбудованої системи управління рухом транспортного засобу за допомогою мікроконтролерів. Графова модель має І-АБО структуру, яка дозволяє задати безліч шляхів, що сходяться в одній вершині і здійснювати тим самим вибір кращих умов руху безпілотного транспортного засобу.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РОБОТИ ГРАФОВОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПЛОТНИМ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ ПРИ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ СИТУАЦІЇ

Аналіз існуючих методів прогнозування динамічно-небезпечної ситуації показує, що більшість алгоритмів кількісно-якісного оцінювання існуватимуть у наступному понятті:

- детерміновані підходи, що базуються на оцінці причинно-наслідкового зв'язку;
- недетерміновані підходи, що базуються на моніторингу аварійних ситуацій.

Перший клас методів прогнозування у свою чергу також поділяється на аналітичні та ймовірнісні методи, маючи на увазі умову поділу у вигляді модальності повторення динамічно-небезпечної ситуації як необхідної або можливої.

У першому випадку йдеться про детермінацію залежності вихідної величини від вхідного параметра.

У другому випадку залежність має імовірнісну природу. В обох випадках практичними даними аналізу виступають часові ряди, що описують взаємозалежну зміну виходів від загального набору входів.

Другий клас методів прогнозування пов'язаний із трактуванням об'єкта керування як нестійкої системи, що здійснює «фазові» переходи між станами. Ці переходи пов'язані з виникненням в об'єкті керування «прихованих» ступенів свободи, які не мають алгоритмічних описів у традиційному розумінні цього процесу (кінцевість, масовість, повторюваність, результативність).

Сучасний безпілотний транспортний засіб в умовах впливу співспрямованих сил, пов'язаних з динамічною зміною моменту інерції та

прискорення, може виступати як нестійка система, в якій нескінченно малі зміни управляючих параметрів призводять до нескінченно великих змін вихідних величин.

У кваліфікаційній роботі розглядається ситуація, коли безпілотний транспортний засіб входить до стадії гальмування. В умовах гальмування доцільно використовувати елементи апарату хаотичної динаміки для виявлення таких переходів і подальшого прогнозування області допустимих значень параметрів та їх подальшої обробки, наприклад статистичним або іншими методами з першого класу.

У загальному випадку під тимчасовим рядом у кваліфікаційній роботі розуміється серія числових величин, що характеризують показники та фактори виникнення динамічно-небезпечної ситуації, наприклад:

- лінійна швидкість;
- кут повороту керма;
- сила гальмування;
- щільність потоку машин та ін.

Основна вимога – ці числові величини мають бути отримані через регулярні проміжки часу. Головною перевагою є те, що запроваджується таке поняття, як вектор «тимчасових рядів» для оцінювання динамічно-небезпечної ситуації.

Вектор «тимчасових рядів» – це числові величини та параметри динамічно-небезпечної ситуації, які залежать від об'єкта керування, що тестується. У зв'язку з цим, головним принципом аналізу значень буде зв'язок, який впливає на розвиток динамічно-небезпечної ситуації. Це прогноз та зіставлення штатного положення об'єкта управління з метою оцінки майбутніх положень об'єкта керування та відпрацювання вірних ефективних підходів щодо прояву динамічно-небезпечної ситуації та нівелювання причин її появи.

Для побудови рівноваги Парето-коаліційної взаємодії структури «транспортний засіб-зовнішнє середовище» виділяється:

- тренд-мета – це головна, але не унікальна частина вектора часу, яка сприяє формалізації головної ідеї коригування фізикотехнічних підходів динамічно-небезпечної ситуації. Найчастіше сценарії, за яких гірше спроектована система та її частини будуть обтяжувати стан переходу динамічно-небезпечної ситуації. При моніторингу незначних показань вектора стану часу здійснюється контроль відхилення від мети як пошук закономірності тієї чи іншої шкали оцінки, які характеризують формальний опис динамічно-небезпечної ситуації;

- циклічність часових рядів, яка показує коригування для досягнення мети із заданим періодом дії. Це характерно для об'єктів управління з самоорганізованою структурою та з коаліційною взаємодією, як аналогія загасаючих коливань у системі;

- система формує короткоперіодичні імпульси, що повторюються через задані часові інтервали, які з'являються завдяки коригуванню значень алгоритмів оцінки динамічно-небезпечної ситуації.;

- нерегулярна (хаотична) частина доповнюється коригуваннями, що відображають відхилення від тренд-мети.

Для формування множини Парето проводиться оцінка розвитку динамічно-небезпечної ситуації з урахуванням частоти появи критичних значень стану системи «безпілотний транспортний засіб-зовнішнє середовище». Практично всі значення системи «безпілотний транспортний засіб-зовнішнє середовище» мають зв'язок з динамічно-небезпечною ситуацією і є нелінійною функцією. При моделюванні враховується аналіз оцінки прояву динамічно-небезпечної ситуації на основі показників вихідних значень мікроконтролерів системи «безпілотний транспортний засіб-зовнішнє середовище».

Також варто зазначити, що зв'язок частини часового ряду буде різним. Параметричним показником динамічно-небезпечної ситуації буде функція,

що відображатиме діаграму на координатних осях, сформульовану на різних областях та режимах руху безпілотного транспортного засобу.

При моделюванні формується підхід, що базується на адитивній формі сигналу у формі функції, яка вважатиметься хаотичною. Враховуючи відмінності в числових значеннях, що впливають на динамічно-небезпечну ситуацію, вважатимемо, що форма впливів на систему «безпілотний транспортний засіб-зовнішнє середовище» буде незначною.

В даний час при розробці моделі оцінки довкілля виникають складності, зумовлені хаотичною неконтрольованою природою довкілля, наприклад:

- неякісне покриття;
- несприятливі метеорологічні умови тощо.

Ці обставини накладають жорсткі обмеження на розробників при проектуванні програмного забезпечення вбудованих систем для керування безпілотним транспортним засобом. При коректній роботі програмного забезпечення правильно працює інтелектуальна система прийняття рішень в умовах нестабільного зовнішнього середовища. При проектуванні інтелектуальної системи керування безпілотним транспортним засобом в умовах несприятливого навколишнього середовища виникає завдання прогнозування нестійкого стану системи «транспортний засіб-зовнішнє середовище».

У стійкому стані система «транспортний засіб-зовнішнє середовище» здатна адаптуватися до динамічно-небезпечної ситуації та прийняти рішення щодо заздалегідь визначених, добре відпрацьованих алгоритмів. У таких ситуаціях ризик пригод мінімальний. Насправді використання інтелектуальних систем керування актуально, коли система «транспортний засіб-зовнішнє середовище» виявляється у нестійкому стані. Як правило, нестійкі стани описуються хаотичними процесами, які недетерміновані та складно піддаються аналізу. Динаміка таких процесів заплутана та складно прогнозована. Повільне рівномірне зростання змінюють великі стрибки

амплітуди та періоду коливань параметрів системи. У загальному випадку система має «коридор» можливих траєкторій, які визначаються станом зовнішнього середовища:

- покриття;
- несприятливі метеорологічні умови, тощо.

Щодо досліджуваного завдання важливо спрогнозувати перехід системи «транспортний засіб-зовнішнє середовище» у нестійкий стан.

У науковій літературі для отримання такого прогнозу описаний синергетичний підхід, запропонований Г. Хакеном, що визначає перехід від хаосу до порядку, стосовно нашого завдання – зворотний перехід «від порядку до хаосу». Хаос у нашому випадку виникає:

- при різкому гальмуванні. У такій ситуації за будь-яких початкових умов траєкторія руху безпілотного транспортного засобу стає аперіодичною;
- при різкому переході з одного покриття з великим коефіцієнтом зчеплення на інше покриття поверхні з меншим коефіцієнтом зчеплення. Тоді при будь-яких близьких початкових умовах дві траєкторії в часі стають різними.

У нашій задачі при керуванні транспортним засобом дуже важливим є перехід від рівноваги до циклу, так звана втрата стійкості. В даний час виділяють два види втрати стійкості або стану рівноваги. При м'якій втраті стійкості встановлюється певний коливальний режим зі зростаючою амплітудою. Стосовно керування безпілотним транспортним засобом найцікавішим є другий вид втрати стійкості – груба. При цьому система йде зі стаціонарного режиму стрибком та перескакує на інший режим руху - перехід від одного покриття до іншого.

Для перевірки адекватності описаного підходу проведено імітаційне моделювання моніторингу зміни параметрів руху безпілотного транспортного засобу за допомогою середовища моделювання MATLAB, що зумовлено його функціональністю.

Вхідні параметри, які брали участь у моделюванні:

- покриття (асфальт) (0 – 25);
- ліворуч асфальт-праворуч на узбіччі пісок (25 - 75);
- ліворуч асфальт- праворуч на узбіччі гравій (75 - 125).

Для дотримання умов експерименту при моделюванні взаємодії безпілотного транспортного засобу із зовнішнім середовищем вхідні дані вводилися в MATLAB довільно за принципом руху транспортного засобу як «kick down», так і плавним набором швидкості. У ході моделювання фіксувалася динаміка зміни кута повороту керма (рисунок 3.1).

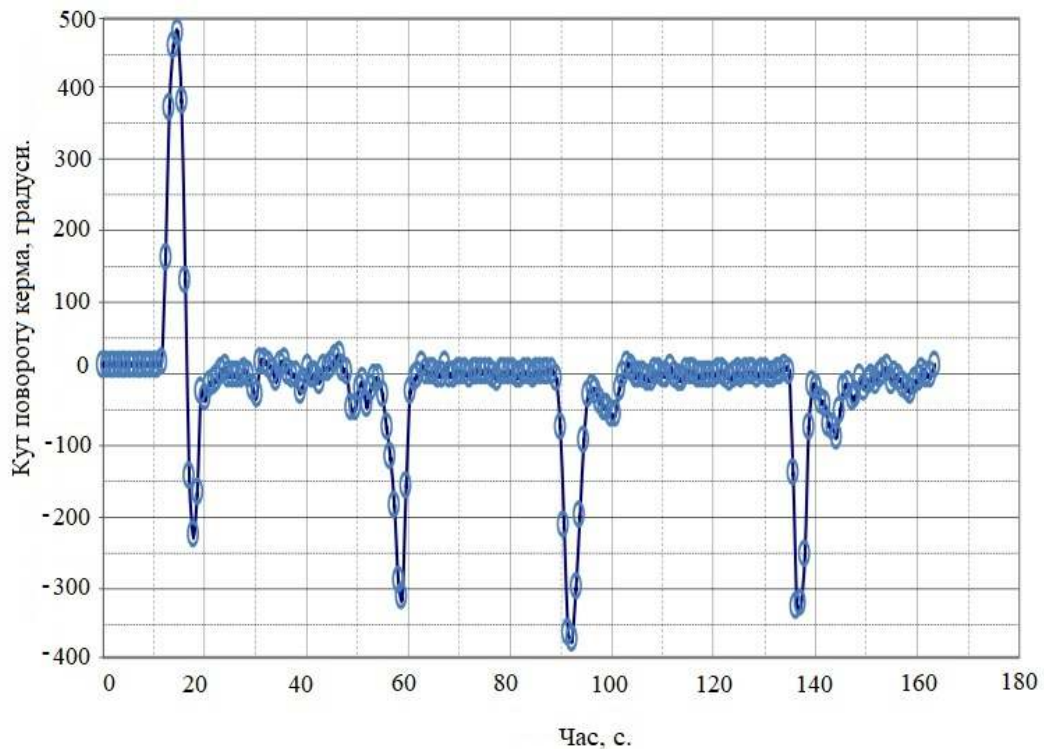


Рисунок 3.1 – Динаміка зміни кута повороту керма

За результатами імітаційного моделювання в середовищі MATLAB видно, що переходи безпілотного транспортного засобу з одного стану до іншого стану характеризуються різкими змінами значень кута повороту керма. У той же час у досліджуваній системі можна виділити стани – атрактори, до яких притягуються траєкторії руху системи (під рухом системи

розуміється рух не тільки транспортного засобу, а й зміни параметрів довкілля). У цей момент безпілотний транспортний засіб поводить ся як нестійка система, яка здійснює «фазовий» перехід до нової області допустимих значень (швидкість розгону). Така поведінка описується спеціальним математичним інструментом – дивним атрактором.

Перехід системи «транспортний засіб-зовнішнє середовище» в режим «дивного атрактора» означає виникнення складних неперіодичних коливань, які дуже чутливі до незначних змін початкових умов:

- кут повороту керма;
- тиск у гальмівній системі;
- кутові швидкості коліс та ін.

Якщо система перебуває у нестійкому стані, її траєкторії можуть притягуватися до так званого «дивного атрактору». У цій ситуації дві близькі траєкторії з часом перестають бути близькими (система знаходиться на межі двох станів). Це зумовлює неможливість точного прогнозування стану системи «ефект метелика» – нескінченно малого обурення характеристики зовнішнього середовища.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було досліджено графову модель керування руху транспортним засобом.

Було успішно досліджено математичний апарат графової моделі керування рухом транспортним засобом при розвитку динамічно-небезпечної ситуації. Ця модель дозволить інженеру-розробнику спроектувати алгоритм роботи вбудованої системи керування рухом транспортного засобу за допомогою мікроконтролерів. Графова модель має І-АБО структуру, що дозволяє задати безліч шляхів, що сходяться в одній вершині і здійснювати тим самим вибір найкращих умов руху безпілотного транспортного засобу. Наукова новизна цієї моделі пов'язана з її інваріантністю до змін, що дозволяє використовувати її для керування рухом безпілотним транспортним засобом з розширюваним набором датчиків з оцінки зовнішнього середовища та дій оператора.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ткачов В.М., Токарев В.В., Радченко В.О., Лебедев В.О. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «Мультикоптер-сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. №2(42). - С.154-157
2. Пат. 118921 Україна, МПК Н04W 64/00. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією / В.М. Ткачов, В.В. Токарев - № u201704085; заявл. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017. Бюл. № 16. 5с.
3. Радченко В.А., Токарев В.В., Ткачев В.М. Мобільна система передачі даних на базі динамічно реконфігурованих мультикоптерних пристроїв / В.О. Радченко, В.В. Токарев, В.М. Ткачов // Проблеми інформатизації: тези доповідей V - наук. - техн. конф., 13 - 15 лист. 2017р. - Харків, 2017. - С.36.
4. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного НВЧ випромінювання: звіт про НДР (заключ.) № держреєстрації 0117U003916.: Ф76/109-2017 / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки; керівник Г. И. Чурюмов. – Харків, 2017. – 116 с.
5. Ruban I.V., Churyumov G.I., Tokarev V.V., Tkachov V.M. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation / I.V. Ruban, G.I. Churyumov, V.V. Tokarev, V.M. Tkachov // Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security: (ITS 2017). CEUR Workshop Processing., 30 nov. 2017 y. - Kyiv, 2017. - P. 105-111.
6. Serkov A., Kravets V., Yakovenko I., Churyumov G., Tokariev V., Nannan W. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / A. Serkov, V. Kravets, I. Yakovenko, G. Churyumov, V. Tokariev, W.

Nannan // The 10h IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies: (DESSERT'2019)., 5-7 june, 2019 y. - Leeds, 2019. - P.26 - 29.

7. Серков О. А., Пустовойтов П. Є., Яковенко І. В., Лазуренко Б. О., Чурюмов Г. І., Токарев В. В., Наннан Ванг. Надширокосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами. / О. А. Серков, П. Є. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан // Сучасні інформаційні системи. - 2019. - Т.3, №2. - С.22-27.

8. Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В., Чурюмов Г.І., Токарев В.В. Надширокосмугові технології в задачах забезпечення електромагнітної сумісності рухомих об'єктів / О.А. Серков, В.В. Князев, Б.О. Лазуренко, І.В. Яковенко, Г.І. Чурюмов, В.В. Токарев // Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку (ЕМС-2019):збірник наукових робіт четвертої міжн. наук.-техн. конф., 24 жовт. 2019 р. - Харків, 2019. - С. 55-57.

9. Krivoulya G., Tokariiev V., Ilina I, Shcherbak V. Mathematical Model for Finding Probability of Detecting Victims of Man-Made Disasters Using Distributed Computer System with Reconfigurable Structure and Programmable Logic / G. Krivoulya, V. Tokariiev, I. Ilina, V. Shcherbak // IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology: (PIC S&T), 06-09 oct. 2020y. - Kharkiv, 2020. - P.197 - 201.

10. Krivoulya G., Tokariiev V., Ilina I., Lebediev O., Shcherbak V. Algorithm of Iterations of Distribution of Subtasks Between «S-Bot» in One «Swarm-Bot» System // Proceedings of the 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2022). CEUR Workshop Proceedings., 12-13 may. 2022 y. - Gliwice, Poland. - P. 1531-1541.

11. Koshevoy N., Ilina I., Tokariiev V., Malkova A., Muratov V. Implementation Of The Gravity Search Method For Optimization By Cost Expenses Of Plans For Multifactorial Experiments // Radioelectronic and Computer Systems. – 2023. Vol. 1(105). - P. 23-32. Doi: 10.32620/reks.2023.1.02

(Scopus).

12. Кривуля Г.Ф., Токарев В.В., Ільїна І.В., Кравець В.Є. Взаємодія між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system у фізичному неорганізованому середовищі. // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2023. №1(71). - С.108-111. Doi: 10.26906/SUNZ.

13. Krivoulya G., Koshevoy N., Tokariev V., Ilna I., Dubinsky D. Solving the Task of Topological Formation Intelligent Mobile «S-bots» for One «Swarm-bot» System // Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2023). CEUR Workshop Proceedings., 20-21 april. 2023 y. - Kharkiv, Ukraine. - pp. 273-282.

14. Лебедев О.Г., Шістеров І.Ю. Графова модель керування рухом безпілотним транспортним засобом / О.Г. Лебедев, І.Ю. Шістеров // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: збірник тез доповідей, 20 вер. 2023р. - Тернопіль: 2023. - випуск 80. - С.59 - 60.