

# Загальні питання

УДК 681.5.015+625.08

О.І. Данник, Д.М. Нелюба

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Полтава*

## СТРУКТУРА НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАЕКТОРІЄЮ РУХУ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІЧУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

*Запропоновано структуру нечіткого регулятора системи керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини. Шляхом комп'ютерного моделювання проаналізовано перехідні процеси в системі з синтезованим нечітким регулятором.*

**Ключові слова:** дорожня розмічувальна машина, система керування, траєкторія руху, нечіткий регулятор, база правил, функції належності.

### Вступ

Швидке зростання парку легкового транспорту в Україні внесло свій вагомий вклад у підвищення інтенсивності дорожнього руху й завантаження автомобільних доріг.

Безпека дорожнього руху у значній мірі залежить від розмітки автомобільних доріг, виконання якої без автоматизованих засобів пов'язане зі значними затратами часу та людських ресурсів. Якісна розмітка проїжджої частини суттєво знижує кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП), збитки від псування чи знищення вантажів при ДТП, а також підвищує безпеку й зручність руху на автомобільних дорогах.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** На сьогоднішній день нанесення горизонтальної дорожньої розмітки є досить трудомістким процесом, який не є повністю автоматизованим. Дорожні розмічувальні машини працюють у технологічному режимі, робочі швидкості якого значно нижчі, ніж при транспортному режимі, але необхідна точність руху має бути набагато вищою [1].

Очевидні переваги мають машини з автоматизованими системами керування траєкторією руху. Дані системи дозволяють забезпечити стабільність траєкторії руху, можливість багаторазового її повторення, точність нанесення необхідної розмітки незалежно від освітленості та кваліфікації водія-оператора.

Ефективність таких систем залежить, перш за все, від того, наскільки повно й оперативно в законі керування здійснюється урахування всіх зовнішніх впливів та зміни динаміки розмічувальної машини. Стохастичність і непрогнозованість таких впливів, а також інерційність самої машини суттєво ускладнюють вирішення цієї проблеми традиційними методами теорії керування. У зв'язку з цим залучення нових підходів для підвищення ефективності керу-

вання траєкторією руху розмічувальних машин є виправданим [2].

**Аналіз попередніх досліджень.** Перші спроби виробництва автоматів-водіїв технологічних машин датуються ще 20-ми роками ХХ ст [3]. Тривалий час проектування і реалізація таких систем терпіли невдачу, оскільки керування велося по одній змінній – поперечному відхиленню центра мас машини від заданої траєкторії. Першим, хто висловив припущення щодо необхідності врахування в системі керування двох змінних, був С.О. Літинський. Його ідеї розвинув О.В. Калоев, який розробив наукові основи автоматичного водіння машинно-тракторних агрегатів [4].

В ідеалі система автоматичного водіння (САВ) має відтворювати керуючі впливи, які здійснює водій-оператор. Зараз у контурах САВ застосовуються переважно регулятори, які реалізують класичні ПІД-закони керування та їх модифікації [5]. Однак, вони не завжди дають задовільні результати. Знання про характер зміни траєкторії руху, на які спирається водій, реалізуються ним у формі правил «якщо-то», які мають нечіткий інформаційний зміст. Цей же принцип застосований при автоматизації керування процесами за допомогою нечітких регуляторів [6]. Системи керування на їх базі розробляються швидше, а також виходять простіші й дешевші чітких аналогів [7].

**Мета роботи.** У даній роботі ставиться мета розробки структури нечіткого регулятора системи керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини та дослідження характеристик системи з таким регулятором.

### Матеріал і результат дослідження

Пояснимо суть нечіткого інтелектуального керування у контексті поставленої задачі. При керуванні розмічувальною машиною водій-оператор стежить за положенням робочого органа (форсунки, яка розпилює фарбу) або візирного пристрою відно-

сно раніше заданої траєкторії. У цьому випадку зміну положення точки закріплення робочого органа або візирного пристрою можна визначити за допомогою двох координат: поперечного відхилення  $X_0$  та курсового кута  $\Psi$  (кут між вектором швидкості заданої точки та дотичною, проведеною до траєкторії руху в точці, найближчій до заданої). Інформація про траєкторію руху може бути отримана різними способами [8]. Вважатимемо, що в кожен момент часу від давачів надходить інформація про значення параметрів  $X_0$  і  $\Psi$ . При цьому знаки даних величин приймемо наступні: поперечне відхилення вважатимемо додатнім, якщо опорна точка знаходиться справа від заданої траєкторії, курсовий кут – якщо він утворений вектором швидкості й дотичною до траєкторії проти ходу годинникової стрілки.

Керуючи траєкторією руху розмічувальної машини водій-оператор постійно стежить за характером зміни положення опорної точки відносно заданої траєкторії, тобто оцінює значення параметрів  $X_0$  і  $\Psi$ . При цьому він не мислить точними числовими категоріями. Наприклад, логіка водія-оператора може бути наступною: якщо поперечне відхилення «додатне велике» і курсовий кут «від'ємний великий», то колеса машини необхідно повернути на «додатній великий» кут. Тобто необхідно виконати керуючий вплив, який має бути протилежним за

знаком похибці по курсовому куту й одночасно на стільки великим, щоб компенсувати подальше зростання поперечного відхилення. Це приклад нечіткої логіки, яка притаманна мисленню водія-оператора. При цьому дається суб'єктивна оцінка тому, що відбувається, адже він не може точно сказати, яким є точне значення похибок у даний момент часу. Можна лише визначити певні межі, в яких поперечне відхилення може вважатися «великим» чи курсовий кут «малим». При цьому в одних випадках під «великим додатнім» можна розуміти одне положення керованих коліс, а в інших – зовсім інше. Як бачимо, особливостями нечіткого керування є можливість представлення техніки й знань про водіння, якими володіє водій-оператор, за допомогою лінгвістичних правил керування, що дозволяє обійтися без кількісної моделі об'єкта керування

Варто відзначити, що в деяких випадках водій-оператори не можуть дати словесне описання операцій, які необхідно виконати. Мова йде про вербальні й ментальні знання. І якщо вербальні знання водія може виразити словесно, то ментальні – ні, так як у деяких ситуаціях керуючі впливи здійснюються ним на інтуїтивному рівні [9]. Структурну схему системи керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини з нечітким регулятором наведено на рис. 1.

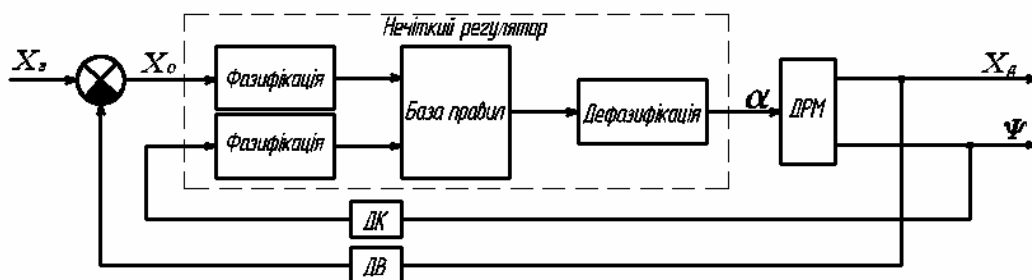


Рис. 1. Структурна схема системи керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини з нечітким регулятором: ДРМ – дорожня розмічувальна машина; ДК – давач курсового кута; ДВ – давач поперечного відхилення;  $X_3$  – задане значення поперечного відхилення;  $X_d$  – дійсне значення поперечного відхилення;  $\alpha$  – кут повороту керованих коліс;  $\Psi$  – курсовий кут

Проектування нечіткого регулятора включає наступні етапи:

1. Визначення входів й виходів нечіткого регулятора.
2. Задання для кожної із вхідних і вихідних змінних функції належності з відповідними термами, тобто переведення чітких вхідних змінних у нечіткі (фазифікація).
3. Розробка бази правил нечіткого регулятора.
4. Проведення дефазифікації – перетворення нечіткого значення вихідного керуючого впливу в чітке.

Як видно з рис. 1, у якості вхідних змінних нечіткого регулятора взяті «поперечне відхилення»  $X_0$  та «курсний кут»  $\Psi$ , а у якості вихідної – «кут повороту керованих коліс»  $\alpha$ .

Блок фазифікації ставить у відповідність кожному вхідному параметру  $x_i$  значення функції належності  $\mu(x_i)$ . Для вхідних і вихідних змінних нечіткого регулятора було обрано наступні терми, тобто нечіткі значення, яких можуть набувати змінні: «від'ємне велике» (ВВ), «від'ємне мале» (ВМ), «близьке до нуля» (БН), «додатне мале» (ДМ), «додатне велике» (ДВ). У якості функцій належності застосовувалися трикутні функції, початковий вигляд яких отримувалася за методикою, викладеною в [10]. У ході моделювання проводилася їх часткова корекція, з метою отримання кращих характеристик перехідних процесів у системі. Вигляд функцій належності вхідних і вихідних змінних наведено на рис. 2–4.

Таким чином, блок фазифікації виконує задачу зіставлення вхідних даних з нечіткими правилами та

лінгвістичними змінними і визначає, наскільки точно умова нечіткого правила збігається зі значенням функції належності  $\mu(x_i)$ .

На практиці найчастіше застосовують два основних типи нечітких регуляторів – регулятор Мамдані та регулятор Такагі-Сугено. Головною відмінністю систем з цими типами регуляторів є спосіб задання значень вихідної змінної у правилах, що утворюють базу знань.

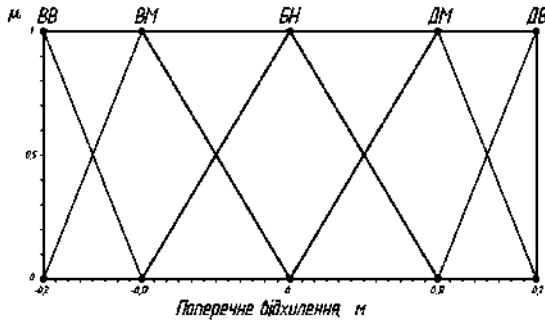


Рис. 2. Функції належності для лінгвістичної змінної  $X_0$  «поперечне відхилення»

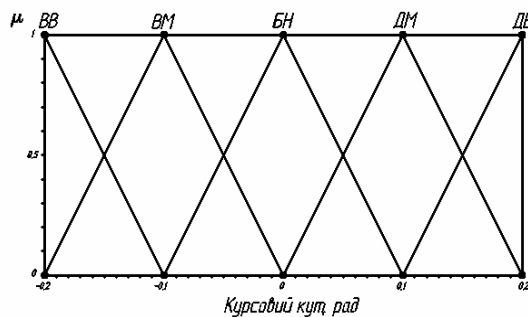


Рис. 3. Функції належності для лінгвістичної змінної  $\Psi$  «курсний кут»

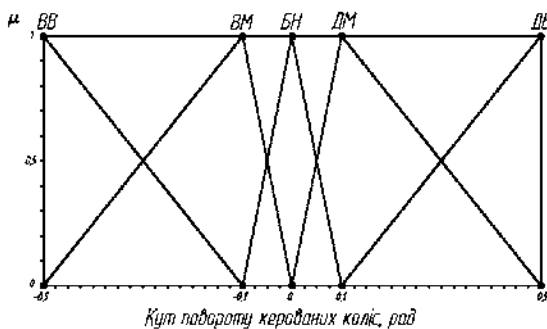


Рис. 4. Функції належності для лінгвістичної змінної  $\alpha$  «кут повороту керованих коліс»

У системах Мамдані значення вихідної змінної задаються нечіткими термами, тоді як у системах Такагі-Сугено як лінійна комбінація вхідних змінних [9]. При розробці бази правил було обрано систему типу Мамдані у формі ЯКЩО  $X_0 =$  «додатне велике» І  $\Psi =$  «додатне велике», ТО  $\alpha =$  «від'ємне велике», оскільки вона найбільше пристосована до логічних міркувань водія-оператора. Розроблену базу правил зручно представити у вигляді табл. 1.

Результуюча нечітка множина що отримується на виході з бази правил повинна бути перетворена на результуючий керуючий сигнал. Ця операція називається дефазифікацією.

Таблиця 1  
База правил нечіткого регулятора

$\Psi \backslash X_0$	ВВ	ВМ	БН	ДМ	ДВ
ВВ	ДВ	ДВ	ДВ	ДВ	ДВ
ВМ	ДМ	ДМ	ДМ	ДМ	ДВ
БН	ВВ	ВМ	БН	ДМ	ДВ
ДМ	ВВ	ВМ	ВМ	ВМ	ВМ
ДВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ

У даній роботі застосовано дефазифікацію методом знаходження центра ваги нечіткої множини, оскільки при застосуванні цього метода в дефазифікації приймають участь всі активні правила і він забезпечує більш високу чутливість нечіткої моделі до зміни вхідних сигналів. При цьому результуючий керуючий сигнал обчислюється за формулою:

$$\alpha_{\text{вих}} = \frac{\sum_i \mu_{\alpha}(x_i) \cdot x_i}{\sum_i \mu_{\alpha}(x_i)}, \quad (1)$$

де  $x_i$  – значення елемента нечіткої підмножини  $X = \{x_i\}$  базової множини;  $\mu_{\alpha}(x_i)$  – значення функції належності.

Було проведено комп'ютерне моделювання роботи системи керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини з лівим боковим розташуванням робочого органа й наступними параметрами: відстань від центра мас до переднього моста  $a = 1,9$  м, відстань від центра мас до заднього моста  $b = 1$  м, коефіцієнти опору відведенню переднього й заднього мостів  $k_{\delta 1} = k_{\delta 2} = 66$  кН/рад, момент інерції відносно вертикальної осі, що проходить через центр мас автомобіля  $J = 4300$  кг·м<sup>2</sup>, маса автомобіля разом з усім розмічувальним обладнанням  $m = 3500$  кг.

Реакція системи на одиничну ступінчасту дію зображена на рис. 5, 6.

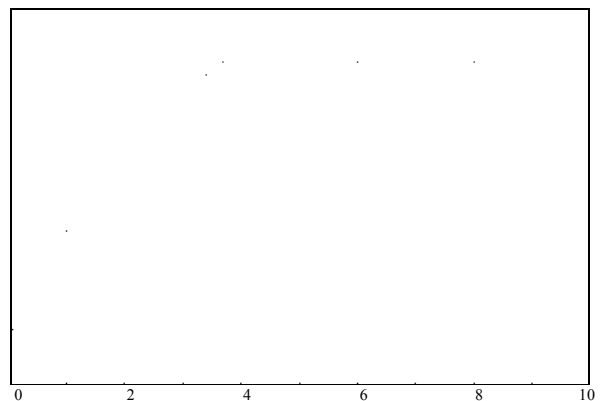


Рис. 5. Перехідний процес у системі керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини по поперечному відхиленню

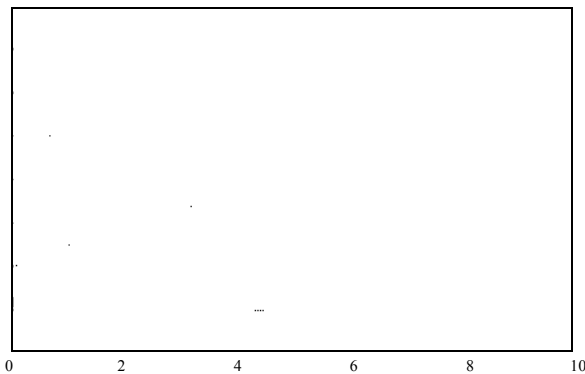


Рис. 6. Перехідний процес у системі керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини по курсовому куту

Як видно з рисунків, перерегулювання по поперечному відхиленню не перевищує 1%, що знаходиться в межах встановленого допуску. Відхилення в 1 м компенсується системою за 4 с, при цьому ліквідується похибка як по курсовому куту, так і по поперечному відхиленню.

### ВИСНОВКИ

1. Запропоновано структуру нечіткого регулятора системи керування траєкторією руху дорожньої розмічувальної машини, яка дозволяє представити знання водія-оператора дорожньої розмічувальної машини у вигляді простих і зрозумілих правил, які встановлюють зв'язок між вхідними й вихідною змінною нечіткого регулятора.

2. Дослідження шляхом комп'ютерного моделювання характеристик системи керування з нечітким логічним регулятором показали, що така система успішно справляється із завданням стабілізації руху дорожньої розмічувальної машини по заданій траєкторії.

3. Ручне налаштування структурних параметрів нечіткого регулятора дозволяє досягти непоганих характеристик перехідних процесів у системі. Однак, суттєвий вплив на них має розташування функцій належності вхідних і вихідних змінних, а також значення коефіцієнтів упевненості в правилах нечіткої бази знань регулятора. Тому подальші дослідження варто продовжити в напрямку оптимізації

структурних параметрів розробленого нечіткого логічного регулятора.

### Список літератури

1. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2007; затв. М-вом регіонального розвитку та будівництва України 31.10.07; введені в дію з 01.03.08. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. Данник О.І. Керування рухом розмічувальної машини на базі нечіткої логіки / О.І. Данник // Автоматика-2010: матеріали XVII Міжнар. конф. з автоматичного управління, Харків, 27–29 вересня 2010 р. – Т. 2. – С. 44-45.
3. Литинский С.А. Автоматизация вождения самоходных машин (автоводители) / С.А. Литинский. – М.: Энергия, 1966. – 144 с.
4. Калоев А.В. Разработка научных основ автоматического вождения машинно-тракторных агрегатов в зоне при возделывании сельскохозяйственных культур: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01, 05.13.07; утв. 19.04.85 / Калоев Александр Владимирович. – Орджоникидзе, 1979. – 443 с.
5. Зубер И.Е. Терминальное управление автономным транспортным средством / И.Е. Зубер, К.Ю. Петрова // Дифференциальные уравнения и процессы управления. – 2004. – № 3. – С. 44-63.
6. Системы фuzzi-управления: моногр. / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмишин. – К.: Техника, 1997. – 208 с.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007 – 288 с.
8. Данник О.І. Огляд способів задавання базової траєкторії для автоматичного водіння розмічувальних машин / О.І. Данник // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Ч. 1, №2. – С. 60-63.
9. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. А.В. Подвесовского и Ю.В. Тюменцева / А. Пегат. – М.: БИНОМ, 2011. – 798 с.
10. Шульга О.В. Фазифікація вхідних змінних нечіткого регулятора системи управління рухом розмічувальної машини методом статистичної обробки знань групи експертів / О.В. Шульга, О.І. Данник, Д.М. Нелюба // «Інформаційні технології в навігації та управлінні: стан та перспективи розвитку»: матеріали другої міжнародної конференції, Київ, 16 – 17 липня 2011 р. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2011. – С. 15.

Надійшла до редколегії 29.09.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### СТРУКТУРА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТОЧНОЙ МАШИНЫ

А.И. Данник, Д.Н. Нелюба

Предложена структура нечеткого регулятора системы управления траекторией движения дорожной разметочной машины. Путем компьютерного моделирования проанализированы переходные процессы в системе с синтезированным нечетким регулятором.

**Ключевые слова:** дорожная разметочная машина, система управления, траектория движения, нечеткий регулятор, база правил, функции принадлежности.

### THE STRUCTURE OF THE SYSTEM CONTROL FUZZY CONTROLLER BY PATH DRIVING OF THE ROAD MARKING MACHINE

O.I. Dannik, D.M. Nelyuba

The structure of the system control fuzzy controller by path driving of the road marking machine is offered. The transients in the system with the synthesized fuzzy controller are analysed by a computer modelling.

**Keywords:** road marking machine, control system, path driving, fuzzy controller, rule base, membership function.