

покриття, зносом елементів рульового приводу або іншими експлуатаційними чинниками – може виникати суттєва різниця в реакціях кожного з коліс. Це ускладнює об'єктивну оцінку технічного стану системи.

У зв'язку з цим, при проведенні вимірювань сумарного люфту в рульовому керуванні доцільно забезпечити синхронний контроль початку повороту обох керованих коліс.

Процес обертання рульового колеса має здійснюватися плавно, без ривків, у обох напрямках. Під час проведення вимірювань необхідно фіксувати кут повороту рульового колеса у момент досягнення зусилля 10 Н або при початку повороту будь-якого з керованих коліс. Додатково слід зафіксувати максимальне зусилля, що прикладається до рульового колеса впродовж усього діапазону кутів повороту керованих коліс досліджуваного транспортного засобу.

### **Перелік посилань**

1. M. Podrigalo, N. Artiomov, V. Garmash, et al. Improving the maneuverability of vehicles by using front swivel axles with separate electric wheels // «EUREKA: Physics and Engineering» Number 3 (2023), P. 29 – 39.

2. ДСТУ 3649:2010 Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. <https://patrul.in.ua/pdf/dstu-3649.pdf>.

3. N. Artiomov, M. Podrigalo, A. Abdulgaziz Analyzing the dynamics of a single car wheel. MATEC Web of Conferences 224, 02102 (2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402102> ICMТMTE 2018.

Подригало Михайло Абович, д-р техн. наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [pmikhab@gmail.com](mailto:pmikhab@gmail.com)

Клец Дмитро Михайлович, Старший менеджер проекту – Реформа дорожньої галузі, Команда підтримки реформ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, д.т.н., професор

Кашканов В.А., д-р технічних. наук, професор, Вінницький національний технічний університет

Рябушко Іван Андрійович, асистент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Біша Владислав Михайлович, ст.викладач, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## **ВИКОРИСТАННЯ ЗАДНІХ НАПРЯМНИХ КОЛІС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПОКАЗНИКІВ МАНЕВРНОСТІ АВТОМОБІЛІВ**

У сучасних умовах розвитку автомобільного транспорту зростають вимоги до його маневреності, безпеки та енергоефективності. Особливо актуальною

ця проблема є для двовісних транспортних засобів, які експлуатуються в умовах обмеженого простору, складного дорожнього покриття чи потребують високої точності руху, як-от міські автомобілі, сільськогосподарська техніка або спецтранспорт. Одним із перспективних напрямів підвищення маневреності є використання двовісних легкових автомобілів, що мають окрім передніх також і задні поворотні (напрямні) колеса, що дозволяє не лише зменшити радіус повороту, а й стабілізувати динамічні характеристики руху та дає можливість забезпечити зручність паркування автомобілів.

У даній роботі досліджується теоретичне обґрунтування і розробляється алгоритм керування задніми напрямними колесами для підвищення стабільності показників маневреності. Наведені математичні моделі, формалізовано закони керування та розроблено структурну схему автоматичного управління, що дозволяє реалізувати практичне впровадження даного рішення в сучасних транспортних засобах.

Основною причиною нестабільності є наявність відведення (ковзання) коліс, зумовленого бічними силами, які виникають під час маневрування. Ці сили призводять до того, що автомобіль не завжди точно слідує траєкторії, визначеній положенням керма. Особливо це проявляється у випадках нестабільних шинних характеристик, що змінюються внаслідок коливань тиску, зносу протектора, зміни навантаження або температурного режиму.

Таким чином, відсутність ефективних систем, здатних забезпечити автоматичну корекцію положення задніх напрямних коліс у відповідь на динамічні зміни руху, є серйозним обмеженням для реалізації повної керованості та підвищення функціональної стабільності двовісних автомобілів. Це обумовлює необхідність створення нових підходів до моделювання, керування та технічної реалізації таких систем.

Метою дослідження є поліпшення експлуатаційних властивостей автомобіля шляхом підвищення стабільності показників маневреності за рахунок використання додаткового повороту задніх напрямних коліс.

Для дослідження поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити закон керування поворотом у площині дороги задніх напрямних коліс за умови забезпечення стабільності показників повороткості на етапі усталеного повороту;
- визначити закон керування поворотом у площині дороги задніх напрямних коліс за умови забезпечення стабільності показників керованості автомобіля на етапі неусталеного повороту;
- розробити алгоритм роботи системи стабілізації показників маневреності двовісних автомобілів за рахунок використання задніх напрямних коліс.

У дослідженні побудовано математичну модель, яка дозволяє описати залежність між кутовою швидкістю повороту автомобіля та кутами повороту передньої і задньої осей

$$\bar{\alpha}_2 = -\arctg\left(\frac{\cos^2 \bar{\alpha}_1}{\bar{\delta}_1} + 0,5 \sin 2\bar{\alpha}_1\right) - \bar{\delta}_2. \quad (1)$$

Цей зв'язок є критично важливим для розробки систем стабілізації маневреності. Було встановлено, що для досягнення стабільного повороту необхідно, аби задні колеса поверталися у протилежному напрямку до передніх. Це дозволяє компенсувати відведення задньої осі та забезпечити точне проходження траєкторії повороту. Автомобіль буде мати абсолютно стабільні показники поворотності при  $R = R'$  і  $\omega_z = \dot{\omega}_z$ .

На основі математичних виведень сформульовано вираз для розрахунку кута повороту задніх коліс ( $\delta_2$ ), який залежить від геометричних параметрів транспортного засобу, кутів повороту передніх коліс ( $\delta_1$ ) та відведення осей. Знак кута  $\delta_2$  завжди протилежний знаку кута  $\delta_1$ . Це положення підтверджено геометричною моделлю та формальною інваріантною формою рівняння, яка є основою для автоматизованого керування.

### 3. Оцінка впливу коефіцієнта А

У ході розрахунків введено коефіцієнт А, який враховує відмінності між реальним кутом повороту та його теоретичним значенням. У відповідності, до залежності (2), в таблиці 1 наведено розрахунки кута. А при кутах  $\bar{\alpha}_1$ , що знаходяться в межах  $[0^\circ, 50^\circ]$  і кутах  $\bar{\delta}_1$  у межах  $[5^\circ, 10^\circ]$

$$A = -\text{arcctg}\left(\frac{\cos^2 \bar{\alpha}_1}{\text{tg} \bar{\delta}_1} + 0,5 \sin 2\bar{\alpha}_1\right) \quad (2)$$

Таблиця 1 – Розрахунок кута А, град

$\bar{\delta}_1$ , град.	$\bar{\alpha}_1$ , град.				
	10	20	30	40	50
5	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,013
10	-0,012	-0,012	-0,013	-0,013	-0,014
15	-0,013	-0,013	-0,013	-0,014	-0,016

Аналіз таблиці значень А для різних комбінацій кутів  $\delta_1$  і відведення задньої осі показав, що цей коефіцієнт має дуже малі значення. Отже, у практичних розрахунках його можна знехтувати, що спрощує побудову моделі та підвищує її придатність для використання у реальному часі.

Окрема увага приділяється шинному компоненту. Оскільки шина є найбільш варіативною частиною колісного рушія, її характеристики (жорсткість, коефіцієнт відведення) змінюються залежно від тиску, зносу та навантаження. Це безпосередньо впливає на стабільність бічної сили, що діє на осі. Саме тому виникає потреба у впровадженні активної компенсації нестабільностей шляхом повороту задніх коліс відповідно до зміни динаміки.

$$R_{\delta_2} = m \left[ \overline{\text{tg} \alpha_1} \left( \frac{ab - i_z^2}{L^2} \right) \frac{dV_{x_1}}{dt} \overline{\text{tg} \alpha_1} + V_{x_1}^2 \frac{a}{L^2} + V_{x_1} \frac{ab - i_z^2}{L^2 \cos^2 \alpha_1} \frac{d\overline{\alpha_1}}{dt} \right] \quad (3)$$

Модель, побудована у дослідженні, дозволяє врахувати масу автомобіля, розташування центра мас, інерційні характеристики та бічну силу. Показано, що абсолютна величина кута повороту задніх коліс зростає пропорційно до кутового прискорення автомобіля, кута повороту передніх коліс та квадрату лінійної швидкості. Це означає, що в умовах різкої зміни руху система повинна реагувати швидко й точно, що і передбачено у запропонованому алгоритмі керування.

Поведінка автомобіля під час повороту розглядається окремо для двох режимів: усталеного (рух із постійними параметрами) та неусталеного (рух із змінними прискореннями та швидкостями). Для кожного з режимів виведено специфічні рівняння: у першому випадку — прості співвідношення між кутами, у другому — рівняння в часткових похідних, що описують зміну кута повороту задніх коліс у часі. Ці моделі дозволяють реалізувати адаптивне керування, залежно від динамічної ситуації на дорозі.

У ході дослідження побудовано систему передавальних функцій, яка описує взаємозв'язки між керованими параметрами: кут повороту передніх коліс, нормальне прискорення кузова (точки Н), кутове прискорення та швидкість зміни цих величин. Ці функції є базою для формування сигналів керування, які спрямовані на точну зміну кута задніх коліс залежно від динамічної ситуації. Такий підхід забезпечує адаптивну стабілізацію маневреності.

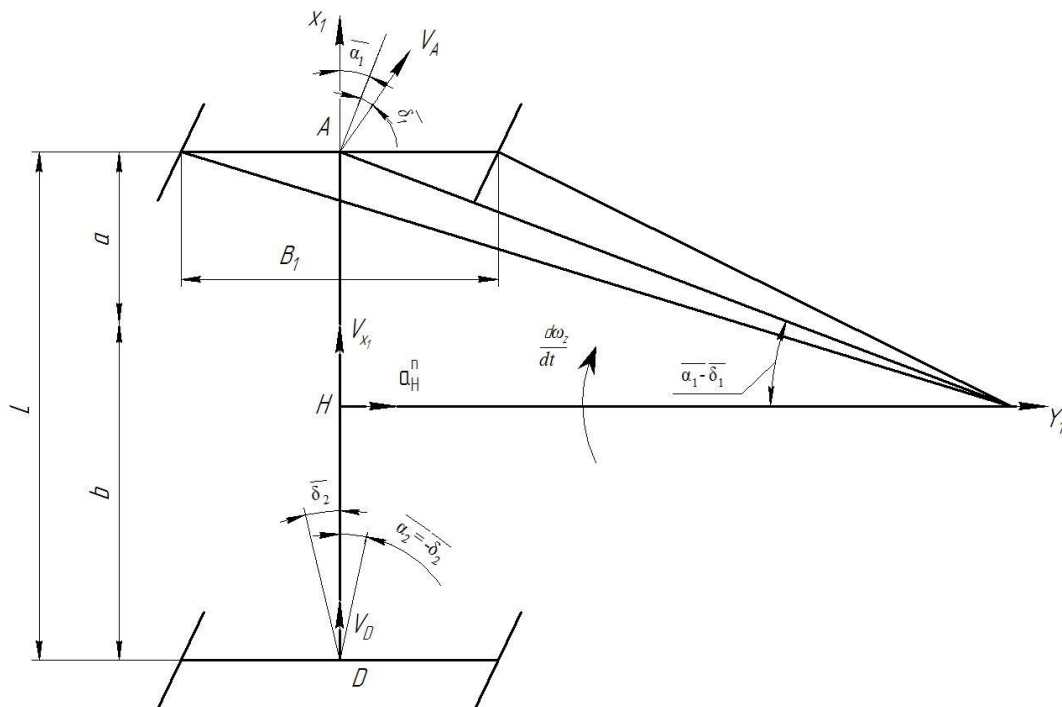


Рисунок 1 – Поворот двовісного автомобіля з додатковим поворотом задніх коліс у площині дороги

Запропоновано блок-схему (рис.2) автоматичного керування поворотом задніх напрямних коліс. Вона включає три датчі (кута  $\delta_1$ , нормального прискорення, кутового прискорення) та два суматори, які формують вихідний сигнал для виконавчого механізму.

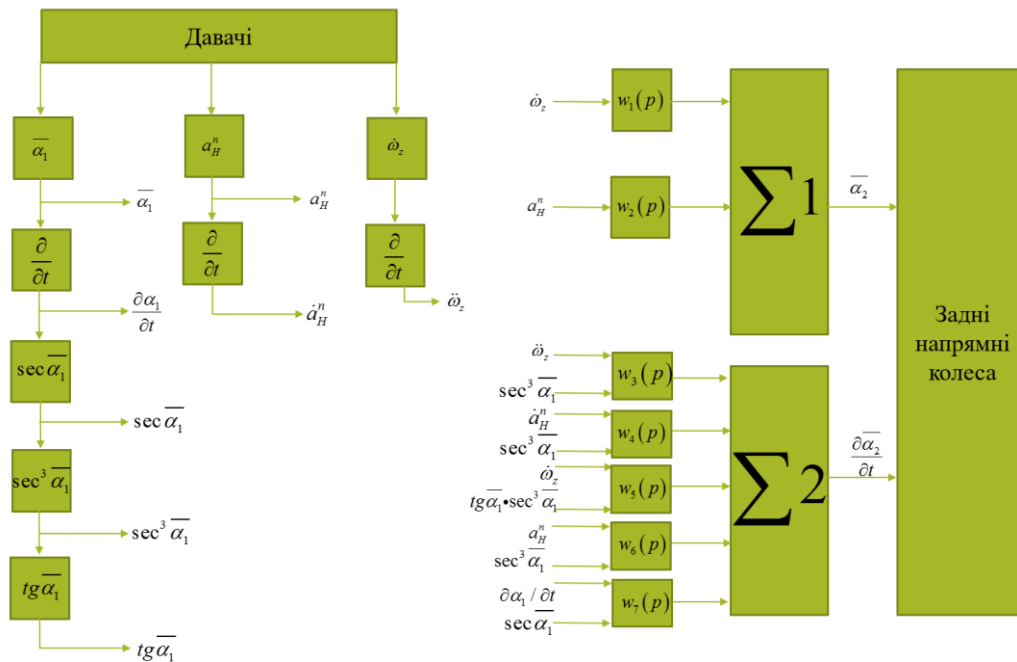


Рисунок 2 – Блок-схема системи автоматичного керування поворотом задніх напрямних коліс двовісного автомобіля

Така система дозволяє реалізувати ефективне керування у режимі реального часу, враховуючи як геометричні, так і динамічні параметри руху автомобіля. Цей алгоритм може бути реалізований у сучасних електронних блоках керування.

Полянський Олександр Сергійович, д-р техн. наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, khadi.pas@gmail.com  
 Бураков Ігор Анатолійович, бакалавр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## ФАКТОРИ ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Точність технологічного процесу є найскладнішою його властивістю, на яку впливає багато чинників. Вплив на точність обробки: деталей на токарних верстатах надає їх точність і жорсткість технологічного оснащення, методи наладки верстатів і знос ріжучого інструменту [3].