

Гандзюк М.О.

*Луцький національний технічний університет***ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З ВСЕКОЛІСНИМ КЕРУВАННЯМ**

Питання забезпечення безпеки руху завжди було першочерговим при розробці нових конструкцій автомобілів. Особлива увага при цьому приділяється стійкості та керованості. Підвищення показників даних властивостей може досягатися різними шляхами, одним із яких є конструкція з чотирма керованими колесами (4WS). Технічні рішення таких схем більш досліджені в зарубіжній літературі на прикладі спортивних автомобілів і деяких японських моделей, роботи вітчизняних дослідників мають переважно описовий характер існуючих рішень. Питання розрахунку показників маневреності автомобіля з чотирма керованими колесами на сьогоднішній день також не розглянуто до кінця. Більшість досліджень носить виключно описовий характер чи показує результати випробувань, проте не вистачає досліджень для проведення проектного розрахунку рульового управління з двома керованими осями. Тому в цій статті розглянуто кінематику повороту позитивної та негативної схем автомобілів з всеколiсним керуванням, наведено схеми та виведені основні розрахункові співвідношення. У свою чергу визначення основних параметрів маневреності та керованості дозволить оцінити зміну даних властивостей порівняно з автомобілем із звичайним рульовим керуванням.

Використання всеколiсного керування дозволяє покращити такі експлуатаційні властивості автомобіля, як стійкість, керованість та маневреність. Це підтверджується теоретичними розрахунками та натурними випробуваннями, описаними у зарубіжних журналах. Наведена у статті методика дозволяє зробити розрахунок основних геометричних параметрів автомобіля із всеколiсним керуванням, необхідних для проектування системи рульового управління.

Ключові слова: автомобіль з всеколiсним керуванням, керовані колеса, кінематика повороту автомобіля, маневреність автомобіля, керованість автомобіля, траєкторна керованість, курсова стійкість автомобіля, радіус повороту автомобіля, схема повороту автомобіля.

ВСТУП

На сьогоднішній день маневреність, стійкість та керованість автомобіля на дорозі є важливим критерієм безпеки у зв'язку зі збільшенням швидкостей руху. Одним із способів покращення показників даних властивостей буде використання автомобілів з більш ніж однією керованою віссю. Спочатку подібні технічні рішення застосовувалися на військових колiсних машинах високої прохідності та зчленованих транспортних засобах великої вантажопідйомності [1]. У 30-х роках схему з керованими передньою та задньою віссю було запропоновано використовувати в цивільному автомобілебудуванні, щоб вирішити проблему паркування в обмеженому просторі, перебудови з однієї смуги в іншу у високошвидкісному режимі та виключити впливання та занесення осей на високих швидкостях. Застосовувалися різні схеми приводів керування задньою віссю: механічний, гідравлічний та електричний. Однак широкого поширення вони не набули, оскільки надійність даних систем поки що залишається невисокою [6].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Питанням вивчення маневреності, стійкості та керованості автомобіля і дослідженням криволінійного руху транспортних засобів приділяється велика увага у сучасних дослідженнях, оскільки рівень розвитку технологій дозволяє автоматизувати керування параметрами рульового управління та створювати інтелектуальні системи. Особлива увага приділяється питанням аналізу кінематичних співвідношень, що описують криволінійний рух, математичних моделей та алгоритмів, побудованих на їх основі [4, 5]. Використання математичних та імітаційних моделей дозволяє досягти оптимальних налаштувань рульового управління, гальмівної системи та підвіски з точки зору безпеки руху, у тому числі при здійсненні маневрів, близьких до межі втрати стійкості.

При всеколiсному керуванні задні колеса повертаються разом з передніми. Кут повороту залежить від передавального числа редуктора, встановленого між передньою і задньою осями. Однією з важливих переваг використання схеми з чотирма керованими колесами є можливість зміни напрямку повороту задніх колiс відносно передніх.

При низькій швидкості руху задні колеса повертаються у протилежному напрямку від передніх, що дозволяє зменшити радіус повороту, така схема називається *негативною*. Цей режим є актуальним при маневруванні в обмеженому просторі, при паркуванні. На високій швидкості передні та задні колеса повертаються в одному напрямку - *позитивна* схема, що необхідно при маневруванні з однієї смуги до іншої на високих швидкостях [1].

Більш детально питання керованості та маневреності автомобілів із двома керованими осями розглянуті у зарубіжній літературі, у тому числі питання моделювання та визначення показників керованості, маневреності та стійкості. Результати дослідження маневреності автомобіля з двома керованими осями на прикладі аналізу геометрії маневру «перестановка» і «парковка» описані в [8]. Детальний аналіз алгоритму роботи підрулюючої осі і зміни фаз повороту задніх коліс розглянуто в [9], зроблено висновки про оптимальні параметри системи з точки зору показників керованості. Математичні моделі криволінійного руху автомобіля з чотирма керованими колесами наведені в [10, 11, 12, 13]. Використання чотириколісного керування дозволяє збільшити середню швидкість проходження трас що є важливим критерієм спортивного автомобіля.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для розрахунку рульового механізму і рульового привода необхідно мати уявлення про кінематичні зв'язки між керованими колесами. Питання розрахунку показників маневреності автомобіля з чотирма керованими колесами на сьогоднішній день не розглянуто до кінця. Більшість досліджень носить виключно описовий характер чи показує результати випробувань, проте не вистачає досліджень для проведення проектного розрахунку рульового управління з двома керованими осями. Тому в цій статті буде розглянуто кінематику повороту позитивної та негативної схем автомобілів з всеколісним керуванням, наведено схеми та виведені основні розрахункові співвідношення. У свою чергу визначення основних параметрів маневреності та керованості дозволить оцінити зміну даних властивостей порівняно з автомобілем із звичайним рульовим керуванням.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення радіуса повороту та кутів повороту керованих коліс необхідно розглянути схему повороту автомобіля з чотирма керованими колесами (рисунки 1).

Наведена схема та виведені на її основі кінематичні залежності виконані на основі відомих робіт [1, 2, 4, 5, 7] у галузі керованості та стійкості автомобілів. На даному етапі дослідження було прийнято допущення, що відведення коліс при русі не відбувається, оскільки врахування змінних кутів відведення досить сильно ускладнить завдання та вимагатиме динамічного моделювання. Це питання є перспективним для подальшого дослідження.

Для позитивної схеми повороту характерний однаковий напрямок повороту коліс передньої та задньої осі. Провівши перпендикуляри до векторів швидкостей кожного з коліс, знайдемо центр повороту. З цієї точки опустимо перпендикуляр на поздовжню площину автомобіля. Цю відстань прийнято вважати радіусом повороту автомобіля R_1 . Потім спроектуємо точки центру плями контакту кожного з коліс на опущений з точки O перпендикуляр. Отримаємо точки G, E, F, H .

Розглянувши трикутники OEA, OFB, OGD і OHC , отримаємо, що кути повороту коліс, колія та колісна база пов'язані наступним співвідношенням:

$$\frac{W_f}{\cot \delta_{of} - \cot \delta_{if}} - \frac{W_r}{\cot \delta_{or} - \cot \delta_{ir}} = L. (1)$$

Тоді умова здійснення повороту для автомобіля з чотирма керованими колесами може бути записана наступним чином:

$$\cot \delta_{of} - \cot \delta_{if} = \frac{W_f}{L} - \frac{W}{L} \cdot \frac{\cot \delta_{of} - \cot \delta_{if}}{\cot \delta_{or} - \cot \delta_{ir}}. (2)$$

Кути повороту передніх та задніх керованих коліс пов'язані через передавальне число механізму задньої осі u_{fr} . За звичай задні колеса повертаються на менший кут, ніж передні. Огляд існуючих конструкцій автомобілів з всеколісним керуванням [1, 6, 8] показав, що передатне відношення між передньою та задньою віссю знаходиться в межах 2,25...4.

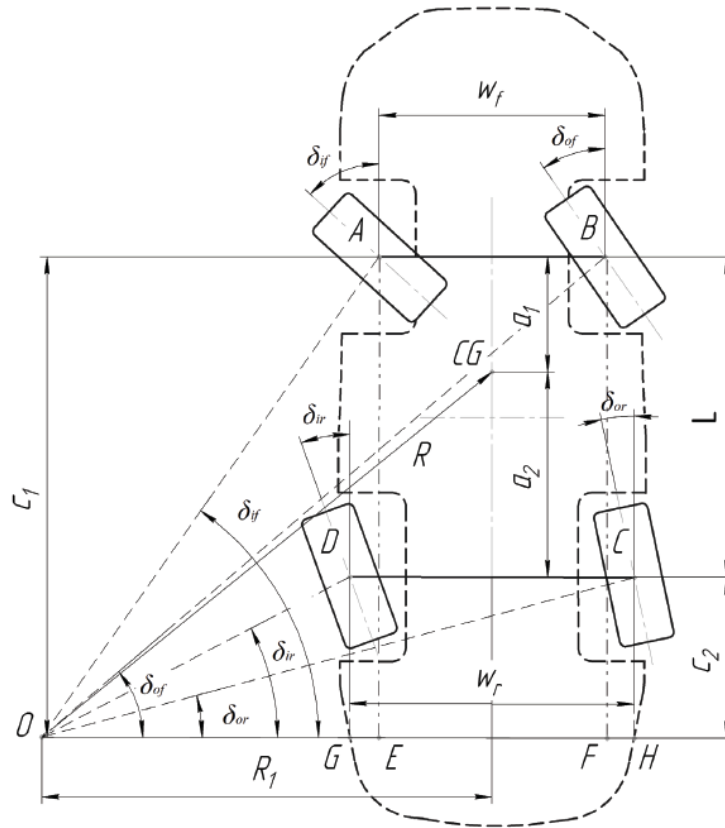


Рисунок 1 - Позитивна схема повороту автомобіля з всеколiсним керуванням

L - колiсна база,

W_f - колiя переднiх колiс,

W_r - колiя заднiх колiс,

CG - центр мас,

a_1 - вiдстань вiд передньої осi до центру мас,

a_2 - вiдстань вiд задньої осi до центру мас,

O - центр повороту,

R_1 - рiдiус повороту,

R - кривизна траєкторiї

c_1 - вiдстань вiд передньої осi до центру повороту,

c_2 - вiдстань вiд задньої осi до центру повороту,

δ_{if} - кут повороту переднього внутрiшнього колеса,

δ_{of} - кут повороту переднього зовнiшнього колеса,

δ_{ir} - кут повороту заднього внутрiшнього колеса,

δ_{or} - кут повороту заднього зовнiшнього колеса.

На першому етапi задамо передатне вiдношення мiж осями i визначимо кут повороту задньої осi δ_r в залежностi вiд кута повороту передньої осi δ_f :

$$\delta_r = \frac{\delta_f}{u_{fr}} \quad (3)$$

Кути повороту передньої та задньої осi знаходяться як середньоарифметичне мiж кутами повороту колiс вiдповiдної осi i визначаються для точки перетину з поздовжньою вiссю автомобiля спiввiдношеннями:

$$\cot \delta_f = \frac{R_1}{L + c_2} \quad (4)$$

$$\cot \delta_r = \frac{R_1}{c_2} \quad (5)$$

Звiдки залежнiсть положення центру повороту вiд кутiв повороту осей знайдемо за формулами:

$$c_2 = \frac{L \cdot \cot \delta_f}{\cot \delta_r - \cot \delta_f} \quad (6)$$

$$R_1 = c_2 \cdot \cot \delta_r \quad (7)$$

$$c_1 = L + c_2 \quad (8)$$

Далi визначимо кути повороту внутрiшнiх та зовнiшнiх колiс передньої та задньої осi автомобiля:

$$\tan \delta_{if} = \frac{c_1}{R_1 - \frac{W_f}{2}}; (9)$$

$$\tan \delta_{of} = \frac{c_1}{R_1 + \frac{W_f}{2}}; (10)$$

$$\tan \delta_{ir} = \frac{c_2}{R_1 - \frac{W_r}{2}}; (11)$$

$$\tan \delta_{or} = \frac{c_2}{R_1 + \frac{W_r}{2}}. (12)$$

Використовуючи отримані значення визначимо показники кінематики повороту та маневреності: радіус кривизни - R , габаритну смугу повороту - ΔR , максимальний і мінімальний радіуси повороту - R_{\max} та R_{\min} :

$$R = \sqrt{(a_2 + c_2)^2 + c_1^2 \cot^2 \delta_f}; (13)$$

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min}; (14)$$

$$R_{\max} = \sqrt{(R_{\min} + W_r)^2 + (c_1 + g)^2}; (15)$$

$$R_{\min} = R_1 - \frac{W_r}{2} - r_w \sin \delta_{ir}; (16)$$

де g - відстань від передньої осі до найвіддаленішої точки кузова автомобіля при повороті;
 r_w - вільний радіус колеса.

З отриманих співвідношень видно, що при односпрямованому повороті передніх і задніх коліс відбувається збільшення радіусу повороту та габаритних показників маневреності, що актуально при високих швидкостях руху та дозволяє уникнути втрати курсової стійкості.

Для негативної схеми повороту чотириколісного рульового управління основні залежності можуть бути отримані з аналізу геометрії кінематики повороту (рисунок 2).

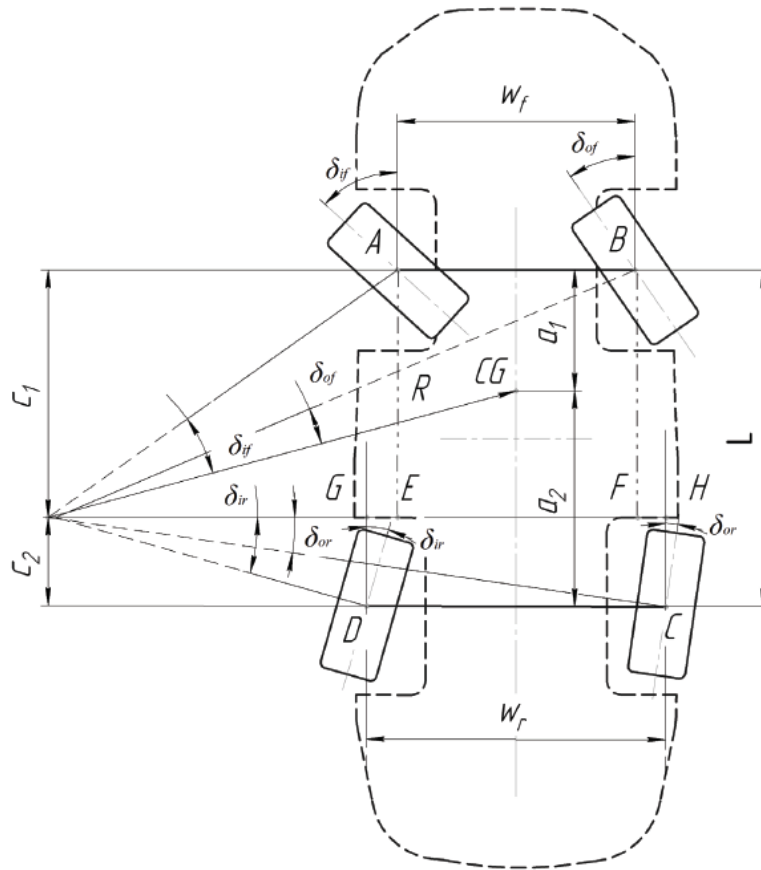


Рисунок 2 - Негативна схема повороту автомобіля з всеколiсним керуванням

Для даної схеми повороту характерний протилежний напрямок повороту колiс передньої та задньої осi. Провiвши аналогiчнi побудови, що i для позитивної схеми, i розглянувши трикутники OEA, OFB, OGD i OHC отримаємо, що кути повороту колiс, колiя i колiсна база пов'язанi таким співвiдношенням:

$$\frac{W_f}{\cot \delta_{of} - \cot \delta_{if}} + \frac{W_r}{\cot \delta_{or} - \cot \delta_{ir}} = L. (17)$$

Кути повороту передньої та задньої осi визначаються iз співвiдношень:

$$\cot \delta_f = \frac{R_1}{L - c_2}; (18)$$

$$\cot \delta_r = \frac{R_1}{c_2}. (19)$$

Аналогiчно знайдемо залежнiсть положення центру повороту вiд кутiв повороту осей, використовуючи такi формули:

$$c_2 = \frac{L \cdot \cot \delta_f}{\cot \delta_r + \cot \delta_f}; (20)$$

$$R_1 = c_2 \cdot \cot \delta_r; (21)$$

$$c_1 = L - c_2. (22)$$

Визначивши значення кутiв повороту кожного з колiс та застосовуючи вирази (9, 10, 11, 12) визначимо показники маневреностi для негативної схеми повороту автомобіля з всеколiсним керуванням:

$$R = \sqrt{(a_2 - c_2)^2 + c_1^2 \cot^2 \delta_f}; (23)$$

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min}; (24)$$

$$R_{\max} = \sqrt{(R_{\min} + W_r)^2 + (c_1 + g)^2}; (25)$$

$$R_{\min} = R_1 - \frac{W_r}{2} - r_w \sin \delta_{ir}. (26)$$

З отриманих співвідношення видно, що при негативній схемі повороту автомобіля з всеколiсним керуванням, геометричні показники маневреності зменшуються, отже збільшується його здатність рухатися в обмеженому просторі. У сучасних конструкціях, як зазначалося раніше, напрямок довороту задніх коліс змінюється в залежності від швидкості руху та кута повороту керма, використовуючи переваги обох схем для конкретних умов руху.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогоднішній день маневреність, стійкість та керованість автомобіля на дорозі є важливим критерієм безпеки у зв'язку зі збільшенням швидкостей руху. Одним із способів покращення показників даних властивостей буде використання автомобілів з більш ніж однією керованою віссю.

Однією з актуальних сьогодні завдань є розробка інтелектуального алгоритму довороту задньої осі [16, 17], що дозволяє визначати необхідний кут і напрямок повороту залежно від дорожньої ситуації. Написання програми та алгоритму для такої системи вимагає розробки динамічної моделі повороту автомобіля з чотирма керованими колесами, а також проведення випробувань на натурних зразках автомобілів з всеколiсним керуванням для верифікації отриманої моделі, що бачиться перспективою подальшого дослідження.

ВИСНОВОК

Використання всеколiсного керування дозволяє покращити такі експлуатаційні властивості автомобіля, як стійкість, керованість та маневреність. Це підтверджується теоретичними розрахунками та натурними випробуваннями, описаними у зарубіжних журналах. Наведена у статті методика дозволяє зробити розрахунок основних геометричних параметрів автомобіля із всеколiсним керуванням, необхідних для проектування системи рульового управління.

Можна зробити висновок, що впровадження всеколiсного керування є актуальною темою на сьогоднішній день і потребує якісного опрацювання, оскільки значна кількість питань залишається невирішеними. Основним завданням, яке сьогодні стоїть перед дослідниками, є підвищення надійності даної системи, що дозволило б застосовувати її серійно. Також серед перспективних питань залишається розробка математичної та імітаційної моделі руху автомобіля, оснащеного даною системою, для створення керуючої програми, що підлаштовується під стиль водіння, зовнішні та дорожні умови.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Автомобілі. Всеколiсне керування: монографія / Сахно В.П. та ін. Київ: НТУ. - 2013. - 180 с.
2. Автомобили. Устойчивость: монография / В.Г.Вербицкий, В.П.Сахно, А.П. Кравченко, А.В.Костенко, А.Э.Даниленко. Луганск: Изд-во «Ноулидж». - 2013. - 176 с.
3. Клец Д.М. Оцінка маневреності чотиривісних автомобілів з двома поворотними платформами [Текст] / Д.М. Клец, С.П. Павлов, Г.Г. Яровий // Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ. - 2024. - Вип. 2(20). - С. 36-40.
4. Подригало М.А. Устойчивость автомобиля при малых случайных отклонениях управляемых колес от нейтрального положения [Текст] / М.А. Подригало, А.А. Бобошко, М.В. Байцур, Д.М. Клец // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. Науково-виробничий збірник. - 2008. - №2 (7). - С. 5-13
5. Подригало М.А. Оцінка статичної стійкості багатовісних автомобільних шасі з чотирьохколiсними поворотними платформами [Текст] / М.А. Подригало, А.О. Бережний, Є.О. Дубінін, І.В. Рогозін // Системи озброєння і військова техніка. - 2023. - № 3(75). - С. 21-27.
6. Подригало М. Поліпшення маневреності чотиривісних автомобілів збільшенням числа ступенів рухливості ходової частини [Текст] / М. Подригало, А. Побережний, В. Гармаш // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. - 2022. - Вип. 1(39). - С. 38-41.
7. Тімков О.М.. Поліпшення показників маневреності та стійкості автопоїздів з наближеними осями причепа : дис. . канд. техн. наук : 05.22.02 / Національний транспортний ун-т . Київ. - 2005. - 175 с.
8. Pilisiewicz J., Kaczyński R. Geometric analysis of maneuverability performance for vehicles with two steering axles // Transport Problems. 2017. V. 12. Issue 2. pp 43–52.
9. Singh A., Kumar A., Chaudhary R., Singh R. Study of 4 Wheel Steering Systems to Reduce Turning Radius and Increase Stability // International Conference of Advance Research and Innovation (ICARI-2014). 2014. pp. 96–102.

10. Ai, Y., Zhou, Q., & Zhang, H. A New Simulation Model for 4WS Vehicles based on Dynamic Tire Friction Model. // 2nd IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications. 2006. pp. 1–6.
11. Zharif M., Ogino H., Ishak M. Research on Steering Control of a 4 Wheel Steering Electric Vehicle with Intelligence Steering Control System // Proceedings of the School of Engineering Tokai University. 2015. Ser. E 40. pp. 71–75.
12. J., Asuthkar G., Kumar M. Design and fabrication of four wheel steering system for light motor vehicles. / Sethupathi A., Chandradass B., Praketh J., Asuthkar G., Kumar M. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. pp. 1202–1217.
13. X. Tu, J. Lie. Robust navigation control of a 4WD/4WS agricultural robotic vehicle // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. pp. 164–175.
14. Amdouni I., Jeddi N., Amraoui L.. Optimal control approach developed to Four-Wheel Active Steering Vehicle // IEEE. 2016. pp. 1–6.
15. Allwright J. Four Wheel Steering (4WS) on a Formula Student Racing Car // VTE-J. Vol. 1. №1. 2015. pp. 3–12.
16. Tan Y., Guo Sh., Hong Y. Slidingmode control of four wheel steering systems // ICMA. 2017. pp. 1250–1255.
17. Tirumala A., Anurag J. Analysis of a fourwheeled steering mechanism for automobiles. // AIP Conference Proceedings. 2019. pp. 2148–2161.

REFERENCES

1. Sakhno, V. (2013). Avtomobili. Vsekolisne keruvannia [Cars. All-wheel drive]. Kyiv: NTU [in Ukrainian].
2. Verbitskiy, V., Sakhno, V., Kravchenko, A., Kostenko A. & Danilenko, A. (2013). Avtomobili. Ustoychivost' [Cars. Stability]. Lugansk: Izd-vo «Noulidzh» [in Ukrainian].
3. Klets, D., Pavlov, S. & Yaroviy H. (2024). Otsinka manevrenosti chotyryvisnykh avtomobiliv z dvoma povorotnyimi platformamy [Evaluation of maneuverability of four-axle cars with two rotating platforms]. *Collection of scientific works of the State Institute of Scientific Research of the testing and certification of weapons and military equipment*, 2(20), 36-40 [in Ukrainian].
4. Podrigalo M., Boboshko, A., Baitsur, M. & Klets D. (2008). Ustoichyvost avtomobylia pry malykh sluchainykh odklonenyakh upravliaemykh koles ot neitralnoho polozhenyia [Stability of the car at small accidental deviations of the steering wheels from the neutral position]. *News of the Automobile and Road Institute. Scientific and industrial collection*, 2 (7), 5-13 [in Ukrainian].
5. Podrigalo, M., Berezheny, A., Dubinin, E. & Rogozin I. (2023). Otsinka statychnoi stiykosti bahatovisnykh avtomobilnykh shasi z chotyrokholisnyimi povorotnyimi platformamy [Assessment of static stability of multi-axle car chassis with four-wheeled rotary platforms]. *Armament systems and military equipment*, 3(75), 21-27 [in Ukrainian].
6. Podrigalo, M., Poberezhny, A. & Garmash V. (2022) Polipshennia manevrenosti chotyryvisnykh avtomobiliv zbilshenniam chysla stupeniv rukhlyvosti khodovoi chastyn [Improving the maneuverability of four-axle cars by increasing the number of degrees of mobility of the running parts]. *Collection of scientific works of the National Academy of the National Guard of Ukraine*, 1(39), 38-41 [in Ukrainian].
7. Timkov, O. (2005). Polipshennya pokaznykiv manevrenosti ta stiykosti avtopoyizdiv z nablyzhenyimi osyamy prychera [Improving the maneuverability and stability of road trains with approximate axles of the trailer]. *Candidate's thesis, Kiev* [in Ukrainian].
8. Pilisiewicz J., Kaczyński R. Geometric analysis of maneuverability performance for vehicles with two steering axles // Transport Problems. 2017. V. 12. Issue 2. pp 43–52.
9. Singh A., Kumar A., Chaudhary R., Singh R. Study of 4 Wheel Steering Systems to Reduce Turning Radius and Increase Stability // International Conference of Advance Research and Innovation (ICARI-2014). 2014. pp. 96–102.
10. Ai, Y., Zhou, Q., & Zhang, H. A New Simulation Model for 4WS Vehicles based on Dynamic Tire Friction Model. // 2nd IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications. 2006. pp. 1–6.
11. Zharif M., Ogino H., Ishak M. Research on Steering Control of a 4 Wheel Steering Electric Vehicle with Intelligence Steering Control System // Proceedings of the School of Engineering Tokai University. 2015. Ser. E 40. pp. 71–75.

12. J., Asuthkar G., Kumar M. Design and fabrication of four wheel steering system for light motor vehicles. / Sethupathi A., Chandradass B., Praketh J., Asuthkar G., Kumar M. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. pp. 1202–1217.
13. X. Tu, J. Lie. Robust navigation control of a 4WD/4WS agricultural robotic vehicle // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. pp. 164–175.
14. Amdouni I., Jeddi N., Amraoui L.. Optimal control approach developed to Four-Wheel Active Steering Vehicle // IEEE. 2016. pp. 1–6.
15. Allwright J. Four Wheel Steering (4WS) on a Formula Student Racing Car // VTE-J. Vol. 1. №1. 2015. pp. 3–12.
16. Tan Y., Guo Sh., Hong Y. Slidingmode control of four wheel steering systems // ICMA. 2017. pp. 1250–1255.
17. Tirumala A., Anurag J. Analysis of a fourwheeled steering mechanism for automobiles. // AIP Conference Proceedings. 2019. pp. 2148–2161.

M. Handziuk Research of car kinematics with all-wheel steering.

The issue of ensuring traffic safety has always been a priority when developing new car designs. Particular attention is paid to stability and controllability. Increasing these properties can be achieved in various ways, one of which is the four-wheel steering (4WS) design. Technical solutions of such schemes are more researched in foreign literature on the example of sports cars and some Japanese models, the works of domestic researchers are mainly descriptive of existing solutions. The question of calculating the maneuverability indicators of a car with four steerable wheels has not been considered to the end. Most of the research is purely descriptive or shows test results, but there is not enough research to carry out the design calculation of steering with two steering axles. Therefore, this article examines the kinematics of turning positive and negative schemes of cars with all-wheel drive, gives the schemes and derives the main calculation ratios. In turn, determining the main parameters of maneuverability and controllability will allow us to assess the change in these properties compared to a car with conventional steering.

The use of all-wheel drive allows you to improve such operational properties of the car as stability, controllability and maneuverability. This is confirmed by theoretical calculations and field tests described in foreign journals. The method presented in the article allows you to calculate the main geometric parameters of a car with all-wheel drive, which are necessary for the design of the steering system.

Key words: car with all-wheel drive, steered wheels, car turning kinematics, car maneuverability, car controllability, trajectory control, car course stability, car turning radius, car turning scheme.

ГАНДЗЮК Микола Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

Mykola HANDZIUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

DOI 10.36910/automash.v2i23.1525