

**С. М. Черненко**  
**Е. С. Клімов**  
**А. А. Черниш**  
**Р. Г. Пузир**

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЧОТИРИЛАНКОВОЇ КЕРМОВОЇ ТРАПЕЦІЇ НА ОСНОВІ ПЛОСКОЇ МОДЕЛІ

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

*Керованість багатовісних транспортних засобів суттєво залежить від кінематики повороту керованих коліс, яка визначається параметрами кермового приводу, однією зі складових якого є кермова трапеція. За наявності у таких транспортних засобів більше одного керованого моста параметри кермових трапецій кожного мають забезпечувати поворот керованих коліс на різні кути. За неоптимальних параметрів кермових трапецій та кермового приводу порушується керованість транспортного засобу, стабілізація керованих коліс, зменшується довговічність шин, збільшується витрата палива.*

*У роботі запропоновано алгоритм розрахунку кінематичних параметрів чотириланкової кермової трапеції на основі плоскої моделі. У середовищі Microsoft Excel проведено розрахунки теоретичних та реальних кутів повороту керованих коліс, проведено оптимізацію базових координат важеля кермової трапеції. Побудовано графіки залежностей різниці між теоретичними та реальними кутами повороту коліс першого та другого мостів автомобіля КрАЗ-7634 HE від кута повороту. Визначено межі зони оптимальних значень координат базової точки. Встановлено, що для першого керованого моста наявна конструкція кермової трапеції забезпечує задовільну кінематику повороту. Для другого керованого моста доцільно змінити розташування базової точки  $A_0$ , перемістивши її в зону оптимальних значень координат. Це дозволить зменшити різницю між теоретичними та реальними кутами повороту внутрішнього та зовнішнього керованих коліс і покращити кінематику повороту.*

*Запропонований підхід забезпечує підвищення точності та швидкості розрахунків. Розроблений алгоритм дозволяє аналізувати вплив конструктивних параметрів будь-якого колісного транспортного засобу на його кінематику повороту та проводити оптимізацію конструктивних параметрів. Застосування модуля «Пошук розв'язання» середовища Microsoft Excel не потребує складних математичних операцій для проведення оптимізації. Кінематика реального просторового кермового приводу, від якої залежить співвідношення між кутами повороту коліс першого та другого керованих мостів, а також питання впливу нахилів шворнів на точність розрахунків потребують додаткових досліджень.*

**Ключові слова:** кермова трапеція, кінематика повороту, оптимізація, кут повороту, керовані колеса

### Вступ

Кермова трапеція є складовою кермового керування автомобіля, яке входить до складу колісного керуючого модуля – підсистеми автомобіля, що забезпечує зміну траєкторії руху, керованість, стійкість, стабілізацію керованих коліс і легкість керування. Для багатовісних транспортних засобів, зокрема КрАЗ-7634HE колісної формули 8×8, який зображено на рис. 1, украй важливим є забезпечення задовільної кінематики повороту керованих коліс і легкості керування, оскільки під час повороту повертається не два колеса, а чотири, кожне на різні кути, і, очевидно, це потребує більших зусиль водія. У разі, якщо параметри кермової трапеції підібрані неоптимально, під час повороту відбувається підвищений знос шин, порушується керованість автомобіля. За ідеальної кермової трапеції керовані колеса під час криволінійного руху котитимуться з мінімальним опором коченню без бокової деформації та бокового ковзання. Узгодження кутів повороту зовнішнього та



Рис. 1. Автомобіль КрАЗ-7634 HE

внутрішнього керованого коліс за допомогою реальної кермової трапеції відбувається з похибкою. Величина цієї похибки залежить від конструктивних особливостей трапеції, установчих параметрів її складових.

*Метою роботи* є розробка алгоритму розрахунку кінематичних параметрів чотириланкової кермової трапеції на основі плоскої моделі, оптимізація її конструктивних параметрів, а також визначення оптимальних координат базової точки важеля трапеції першого та другого керованих мостів автомобіля КрАЗ-7634НЕ.

### Результати дослідження

Методики розрахунків та дослідження параметрів кермового керування наведені у роботах [1–3]. Дослідження кінематики кермової трапеції транспортних засобів, оптимізація її параметрів розглянуті в роботах [4–9]. У роботі [4] аналізуються алгоритми для визначення співвідношень між кінематичними параметрами плоского чотиричленичного механізму, розроблено найефективніший метод аналізу кінематики. У роботі [5] визначені геометричні та експлуатаційні обмеження параметрів, проведено аналіз кермової трапеції Акермана завдяки системному використанню нормованих значень довжини елементів механізму. В роботах [7–9] розглядаються питання оптимізації та синтезу чотириланкових механізмів кермових трапецій автомобілів. Імітаційне моделювання та дизайн кермового механізму розглянуті в роботі [7]. Для цього використовувався програмний продукт ADAMS. Унаслідок оптимізації геометричних параметрів важелів кермової трапеції отримано різницю між практичними та теоретичними кутами повороту керованих коліс, яка не перевищує  $0,5^\circ$ . У роботі [9] розв'язується одновимірною задачею оптимізації, пропонується ряд 3D-діаграм параметричного проектування, які можуть допомогти автомобільному інженеру у визначенні оптимальної геометрії кермової трапеції Акермана. Математичну модель плоскої чотириланкової кермової трапеції розроблено в роботі [10].

Аналіз робіт, пов'язаних з дослідженням кінематики кермової трапеції, свідчить, що на сьогодні є різні методи оптимізації конструктивних параметрів кермових трапецій. Вони ґрунтуються на складних математичних обчисленнях, потребують багато часу та застосування спеціальних програм, вимагають високої кваліфікації виконавців. Одним із сучасних методів дослідження параметрів кінематики та динаміки механічних систем, зокрема кермової трапеції, є метод тривимірного моделювання за допомогою програми Сгео, який дозволяє скоротити час і витрати на проектування та оптимізацію параметрів різних механізмів.

Очевидно, що під час криволінійного руху керовані колеса транспортного засобу мають бути повернутими на різні кути [2], [5], [6], [9]. Теоретичні співвідношення між кутами повороту внутрішнього та зовнішнього керованих коліс описуються відомою формулою Р. Акермана [2], [5], яка має такий вигляд:

$$\operatorname{ctg}\Theta_0 - \operatorname{ctg}\Theta_i = \frac{K}{B}, \quad (1)$$

де  $\Theta_0$  – кут повороту зовнішнього колеса (вихідний параметр);  $\Theta_i$  – кут повороту внутрішнього колеса (вхідний параметр);  $K$  – відстань між осями шворнів;  $B$  – відповідна база автомобіля.

Під час повороту автомобіля колісної формули  $8 \times 8$  кожне з чотирьох керованих коліс має повертатися на різні кути. При цьому співвідношення між кутами повороту внутрішнього та зовнішнього коліс першого мосту описуються залежністю (1), для коліс другого мосту також має виконуватись співвідношення (1), але з іншим значенням бази  $B$ . Необхідно зазначити, що формула (1) справедлива у випадку абсолютно жорстких керованих коліс, оскільки вона не враховує кутів відведення.

У роботі [10] наведено математичну модель плоскої кермової трапеції й отримано залежність, що визначає реальні співвідношення між кутами повороту лівого та правого важелів кермової трапеції,

$$\Theta_0 = \arccos \frac{f^2 + r^2 - n^2}{2fr} - \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{x_0}{y_0} + \arcsin \left( \frac{r}{f} \sin \alpha \right), \quad (2)$$

де  $\varphi$  – кут установки лівого важеля трапеції;  $x_0, y_0$  – координати точки  $A_0$  кермової трапеції в нейтральному положенні коліс;  $r$  – довжина важеля трапеції.

Параметри  $f, n, \alpha$  визначаються відповідно до схеми плоскої кермової трапеції (рис. 2) з урахуванням співвідношень

$$f^2 = r^2 + K^2 - 2 \cdot K \cdot r \cdot \cos \alpha;$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - (\varphi + \Theta_i);$$

$$n^2 = f^2 + r^2 - 2fr \cos \angle AO_1B \Rightarrow \angle AO_1B = \arccos \frac{f^2 + r^2 - n^2}{2fr}$$

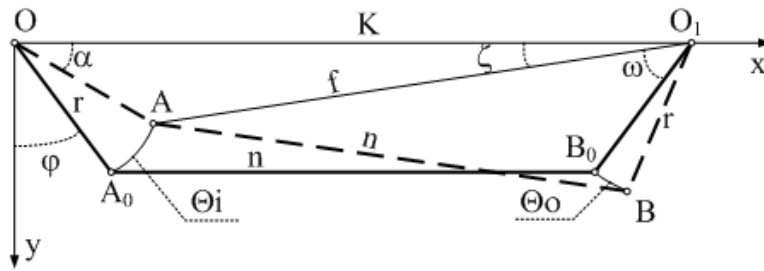


Рис. 2. Схема плоскої чотириланкової кермової трапеції

Очевидно, що кінематика такого механізму буде визначатися початковими координатами точки  $A_0(x_0, y_0)$ , оскільки лівий і правий важелі трапеції симетричні. Змінюючи ці координати, можна змінювати співвідношення між кутами повороту лівого та правого важелів трапеції, і, відповідно, кутами повороту керованих коліс. Для реального транспортного засобу координати точки  $A_0$  мають знаходитись у певних межах, які зумовлені конструкцією керованого моста та кермового приводу.

Бажане теоретичне співвідношення між кутами повороту керованих коліс визначається залежністю (1), а реальне – залежністю (2). Змінюючи конструктивні параметри кермової трапеції, а саме координати точки  $A_0(x_0, y_0)$ , можна мінімізувати різницю між значеннями функції  $\Theta_0 = f(\Theta)$  для ідеальної та реальної кермової трапеції. Отже, метою оптимізації конструктивних параметрів кермової трапеції є підбір таких координат точки  $A_0(x_0, y_0)$ , за яких реальні кути повороту важелів кермової трапеції  $r$ , а, відповідно, і кутів повороту керованих коліс будуть максимально наближеними до теоретичних у повному їх діапазоні.

Для оптимізації координат точки  $A_0$  скористаємось програмою Microsoft Excel, яка містить вбудований модуль оптимізації «Пошук розв’язання». Як цільову функцію, яку необхідно мінімізувати, використовуватимемо середньоквадратичне відхилення між реальними та теоретичними кутами повороту керованих коліс. Вона записується у вигляді

$$\phi = \sqrt{\sum (\Theta_r - \Theta_p)^2}, \tag{3}$$

де  $\Theta_r$ ,  $\Theta_p$  – теоретичний та реальний кути повороту зовнішнього колеса відповідно.

На рис. 3 зображено електронну таблицю, яка була створена в середовищі Microsoft Excel.

Вихідні дані КрАЗ-7634 HE										
x0	y0	K, мм	B, мм	r, мм	φ, град	φ, рад	n, мм			
42,5	189,5	1704	6450	194,21	12,64	0,22	1619			
Мат. модель плоскої кермової трапеції										
Θi, град	Θi, рад	α, рад	α, град	f, мм	Θo, рад	Θo, град	Θr, рад	Θr, град	Δ, град	Цільова функція
-30	-0,52	1,87	107,36	1771,67	-0,61	-35,16	-0,60	-34,27	0,897	
-25	-0,44	1,79	102,36	1755,85	-0,49	-28,25	-0,49	-28,01	0,247	
-20	-0,35	1,70	97,36	1739,57	-0,38	-21,93	-0,38	-21,93	0,001	
-15	-0,26	1,61	92,36	1722,96	-0,28	-16,03	-0,28	-16,09	0,059	
-10	-0,17	1,52	87,36	1706,12	-0,18	-10,44	-0,18	-10,48	0,041	
-5	-0,09	1,44	82,36	1689,18	-0,09	-5,11	-0,09	-5,12	0,012	
0	0,00	1,35	77,36	1672,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	
5	0,09	1,26	72,36	1655,52	0,09	4,90	0,09	4,89	0,011	
10	0,17	1,18	67,36	1639,07	0,17	9,60	0,17	9,56	0,036	
15	0,26	1,09	62,36	1623,05	0,25	14,10	0,25	14,05	0,052	
20	0,35	1,00	57,36	1607,59	0,32	18,40	0,32	18,37	0,028	
25	0,44	0,91	52,36	1592,84	0,39	22,47	0,39	22,55	0,072	
30	0,52	0,83	47,36	1578,92	0,46	26,31	0,46	26,61	0,294	
35	0,61	0,74	42,36	1565,97	0,52	29,89	0,53	30,58	0,690	1,201

Рис. 3. Електронна таблиця в середовищі Microsoft Excel, яка реалізує алгоритм розрахунку параметрів кермової трапеції

За допомогою наведеної таблиці розраховуються реальні кути повороту зовнішнього керованого колеса  $\Theta_0$ , теоретичні кути повороту  $\Theta_r$ , різниця між реальними та теоретичними кутами повороту  $\Delta$ , середньоквадратичне відхилення  $\phi$  (цільова функція).

Модуль «Пошук розв'язання» має вигляд, який показано на рис. 4. Мета оптимізації – мінімізувати цільову функцію, яка записана у відповідному стовпці таблиці. При цьому необхідно дотримуватись обмежень, які задаються у відповідному вікні програми: координата  $x_0$  має знаходитись у межах від 40 до 70 мм, координата  $y_0$  має знаходитись у межах від 150 до 280 мм (з конструктивних міркувань). Натискаючи кнопку «Знайти розв'язання», отримуємо необхідні координати точки  $A_0$ , які відповідають мінімуму цільової функції.

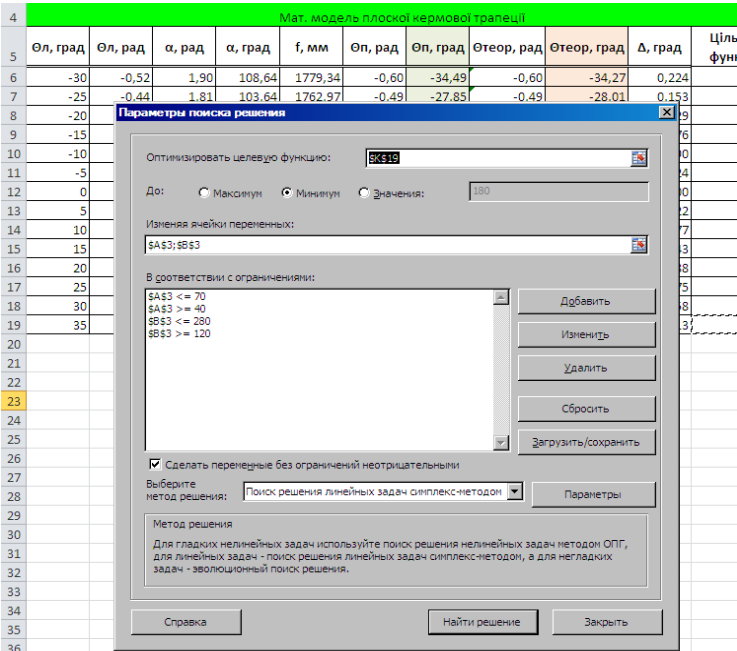


Рис. 4. Модуль «Пошук розв'язання» у середовищі Microsoft Excel

Для наявної кермової трапеції КрАЗ-7634НЕ координати точки  $A_0$  однакові для першого та другого керованих мостів і мають значення  $x_0 = 42,5$  мм,  $y_0 = 189,5$  мм.

Розрахунки довели, що для першого керованого моста оптимальними координатами будуть  $x_0 = 40$  мм,  $y_0 = 199$  мм, а для другого керованих мостів –  $x_0 = 44$  мм,  $y_0 = 150$  мм.

Повторюючи розрахунки для першого та другого керованих мостів автомобіля КрАЗ-7134НЕ, отримуємо результати, за допомогою яких можна проаналізувати кінематику повороту керованих коліс у повному діапазоні.

На рис. 5 зображено залежності різниці  $\Delta$  в градусах між реальними та теоретичними кутами повороту керованих коліс першого моста до оптимізації та після неї від кута повороту внутрішнього колеса.

З аналізу графіків видно, що для наявної кермової трапеції КрАЗ-7634 НЕ при повороті ліворуч та праворуч на кут 30 град різниця  $\Delta$  складає відповідно 0,3 град та 0,9 град. При цьому в межах кутів повороту від 0 до 20 град, як праворуч так і ліворуч, ця різниця не перевищує 0,1 град, що є цілком задовільним. Після оптимізації різниця  $\Delta$  у повному діапазоні кутів повороту не перевищує 0,2 град. При цьому середньоквадратичне відхилення  $\phi = 1,201$  до оптимізації та  $\phi = 0,554$  після оптимізації.

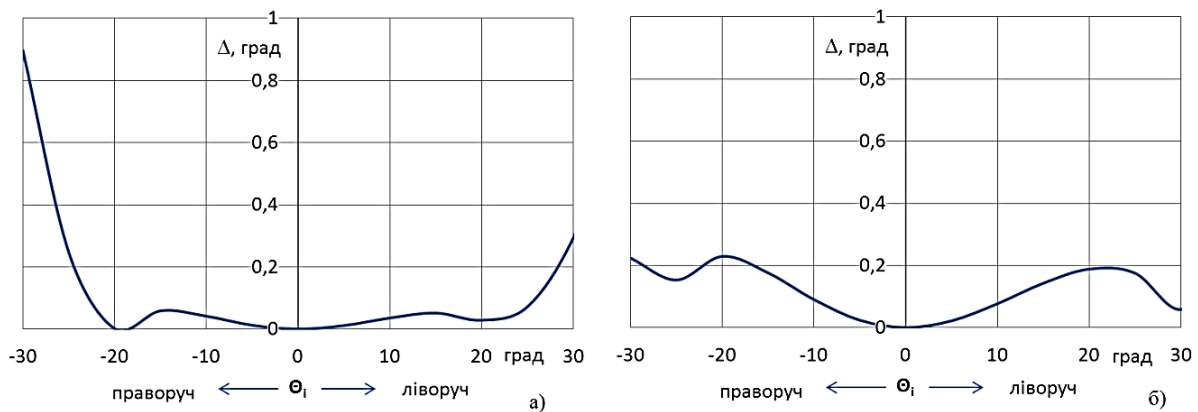


Рис. 5. Різниця між теоретичними та реальними кутами повороту правого колеса першого моста КрАЗ-7634НЕ: а) до оптимізації з координатами точки  $A_0(42,5; 189,5)$ ; б) після оптимізації з координатами точки  $A_0(40; 199)$

На рис. 6 подано залежності різниці  $\Delta$  у градусах між реальними та теоретичними кутами повороту керованих коліс другого моста до оптимізації та після неї від кута повороту внутрішнього колеса.

У цьому разі до оптимізації різниця  $\Delta$  сягає 1,1 град під час повороту праворуч і 0,95 град під час повороту ліворуч. Оптимізація координат точки  $A_0$  дозволяє зменшити різницю, яка не перевищує 0,41 град при кутах повороту не більше 22 град праворуч і ліворуч, що відповідає максимальним кутам повороту другого моста. Середньоквадратичне відхилення складало  $\phi = 3,364$  до оптимізації та  $\phi = 0,974$  після оптимізації.

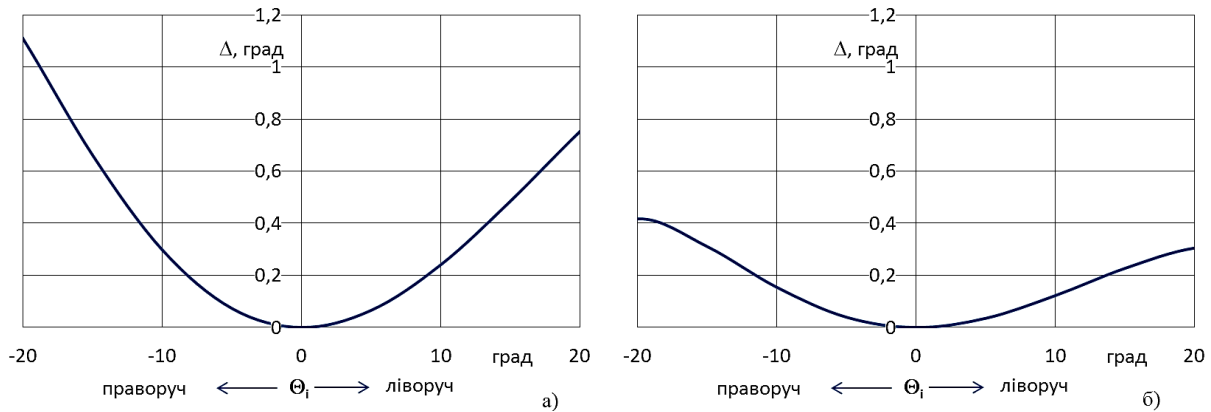


Рис. 6. Різниця між теоретичними та реальними кутами повороту правого колеса другого моста КрАЗ-7634НЕ: а) до оптимізації з координатами точки  $A_0(42,5; 189,5)$ ; б) після оптимізації з координатами точки  $A_0(44; 150)$ .

Для визначення меж оптимальних значень координат точки  $A_0$  були проведені розрахунки з визначення цільової функції  $\phi$  для першого та другого керованих мостів. У результаті побудовано графіки (рис. 7), де різним забарвленням позначено межі цільової функції  $\phi$  залежно від координат  $x$  та  $y$ . На графіках нанесено розташування точки  $A_0$  до оптимізації ( $A_{01}$ ) та після неї ( $A_{02}$ ).

Розрахунки довели, що для першого керованого моста КрАЗ-7634НЕ точка  $A_0$  знаходиться в зоні оптимальних значень, де цільова функція  $\phi$  знаходиться в межах від 0 до 2. Отже, кінематика повороту керованих коліс першого моста є задовільною, а положення точки  $A_0$  може залишатися незмінним.

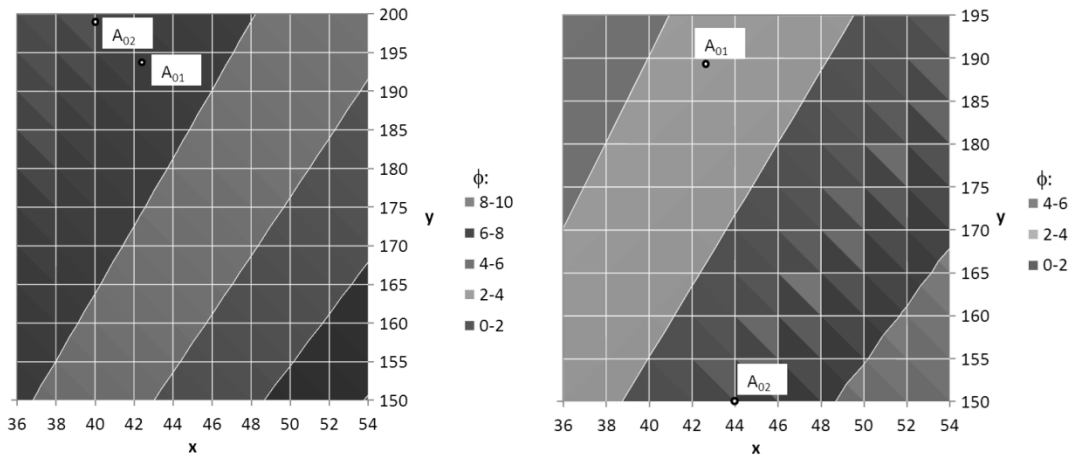


Рис. 7. Межі оптимальних значень координат точки  $A_0$ :

а) для першого керованого моста КрАЗ7634НЕ; б) для другого керованого моста КрАЗ-7634НЕ

Щодо другого керованого моста, то в наявній конструкції кермової трапеції точка  $A_0$  розташована поза межами оптимальних значень. Для забезпечення задовільної кінематики повороту керованих коліс необхідно змінити розташування точки  $A_0$ , перемістивши її в зону, у якій  $\phi$  не перевищуватиме 2 град, зокрема  $x_0 = 44$  мм,  $y_0 = 150$  мм. Для цього необхідно вдосконалити конструкцію двох важелів кермової трапеції, змінивши їх довжину та кут нахилу.

## Висновки

Отже, внаслідок проведених досліджень розроблено алгоритм розрахунку кінематичних параметрів чотириланкової плоскої кермової трапеції автомобіля. Алгоритм реалізовано в середовищі Microsoft Excel і дозволяє розраховувати теоретичні та реальні кути пороту керованих коліс будь-якого автомобіля залежно від конструктивних параметрів колісного керуючого модуля. Запропонований підхід забезпечує підвищення точності і швидкості розрахунків. За допомогою модуля «Пошук розв'язання» проведено оптимізацію базових координат важелів кермової трапеції на прикладі першого та другого керованих мостів автомобіля КрАЗ-7634 НЕ. Установлено, що для другого керованого моста доцільно вдосконалити конструкцію важелів кермової трапеції, що дозволить покращити кінематику повороту керованих коліс. Водночас додаткових досліджень потребує кінематика просторового кермового приводу, від якої залежить співвідношення між кутами повороту коліс першого та другого керованих мостів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] И. А. Мурог, «Научные методы совершенствования трансмиссии и рулевого управления при модернизации автомобилей многоцелевого назначения.» дис. доктора техн. наук, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, 2013.
- [2] А. П. Солтус, *Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навчальний посібник*. Київ, Україна: Арістей, 2006, 176 с.
- [3] А. П. Солтус, С. М. Черненко «О функциональной взаимосвязи углов поворота цапфы и управляемого колеса автомобиля.» *Вісник Кременчуцького державного політ. у-ту: Наукові праці КДПУ*, Вип. 6/2002 (17), с. 63-65. 2002.
- [4] E. Constans, T. R. Chandrupatla, Hong Zhang, «An efficient position solution for the fourbar linkage», *Int. J. Mechanisms and Robotic Systems*, vol. 2, no. 3/4, pp. 365–373, January 2015. DOI: 10.1504/IJMRS.2015.074122
- [5] A. P. Stoicescu, «Geometrical and operational constraints of an Ackermann steering linkage.» *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, vol. 74, Iss. 2, January, 2012.
- [6] О. С. Лиходій, «Визначення оптимальних параметрів кермових трапецій керованих осей напівпричепа.» *Вісник НТУ «ХПИ»*. № 30 (1003), с. 49-54. 2013.
- [7] М. М. Тораç, et al, «Design of a Multi-Axle Steering Mechanism for a Special Purpose Vehicle: Kinematic Design and Optimization», 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17), Elazığ, Turke, 19-21 October 2017, pp. 1-8.
- [8] M. Mohammad Etefagh, M. Saeidi Javash, «Optimal synthesis of four-bar steering mechanism using AIS and genetic algorithms», *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 28(6), pp. 2351 – 2362, June 2014. DOI: 10.1007/s12206-014-0526-3.
- [9] P.A. Simionescu, D. Beale, «Optimum synthesis of the four-bar function generator in its symmetric embodiment: the Ackermann steering linkage», *Mechanism and Machine Theory* 37, pp. 1487–1504, December 2002. DOI:10.1016/S0094-114X(02)00071-X.
- [10] S. Chernenko, E. Klimov, A. Chernish, O. Pavlenko, V. Kukhar, «Simulation Technique of Kinematic Processes in the Vehicle Steering Linkage», *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7, No 4.3, Special Issue. 3, pp. 120-124, 2018. DOI:10.14419/ijet.v7i4.3.19720.

**Черненко Сергій Михайлович** – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і тракторів, e-mail: [sercher174@gmail.com](mailto:sercher174@gmail.com).

**Клімов Едуард Сергійович** – канд. техн. наук, доцент з покладанням обов'язків завідувача кафедри автомобілів і тракторів.

**Черниш Андрій Анатолійович** – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і тракторів.

**Пузыр Роман Григорович** – д-р техн. наук, доцент кафедри технології машинобудування.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук.

**S. Chernenko**  
**E. Klimov**  
**A. Chernish**  
**R. Puzyr**

## Optimization of four-bar parameters steering linkage based on flat model

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

*Controllability of multi-axle vehicles depends significantly on the kinematics of steerable wheels, which is determined by the parameters of the steering system, one of which is the steering linkage. With such vehicles having more than one steering axle, the steering linkage parameters of each steering axle shall ensure that the steerable wheels are rotated to different angles. At suboptimal parameters of steering linkage and steering drive the vehicle controllability, stabilization of steerable wheels, tire durability decreases, fuel consumption increases.*

*The algorithm of calculating kinematic parameters of a four-link steering linkage based on a flat model is proposed. Microsoft Excel calculates theoretical and real steer angles, optimizes the basic coordinates of the steering arm. The difference between the theoretical and actual steer angles of the wheels of the first and second axles of the KrAZ-7634 HE obtained from the steer angle. The boundaries of the zone of optimal values of the coordinates of the base point are determined. It is established that for the first steerable axle the existing design of the steering linkage provides satisfactory steering kinematics. For a second steerable axle, it is advisable to change the location of the base point  $A_0$  by moving it to the area of optimal coordinate values. This will reduce the difference between the theoretical and actual steer angles of the inner and outer steerable wheels and improve the kinematics of the rotation.*

*The proposed approach improves the accuracy and speed of calculations. The developed algorithm allows to analyze the influence of the design parameters of any wheeled vehicle on its steering kinematics and to optimize the design parameters. The application of the Solution Search module of the Microsoft Excel environment does not require sophisticated mathematical operations to optimize. The kinematics of a real spatial steering drive, on which the ratio between the steer angles of the wheels of the first and second steerable axles depends, as well as the question of the influence of the kingpin inclinations angles on the accuracy of the calculations, needs further research.*

**Key words:** steering linkage, kinematics, optimization, steerable wheels; steer angle.

**Chernenko Sergii** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Automobiles and Tractors Department, e-mail: [sercher174@gmail.com](mailto:sercher174@gmail.com).

**Klimov Eduard** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor with the duties of Head of the Department of Automobiles and Tractors.

**Chernish Andrii** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Automobiles and Tractors Department.

**Puzyr Ruslan** – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of Manufacturing Engineering Department.

**С. М. Черненко**  
**Э. С. Климов**  
**А. А. Черныш**  
**Р. Г. Пузырь**

## **Оптимизация параметров четырёхрычажной рулевой трапеции на основе плоской модели**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

*Управляемость многоосных транспортных средств существенно зависит от кинематики поворота управляемых колес, которая определяется параметрами рулевого привода, одной из составляющих которого является рулевая трапеция. При наличии в таких транспортных средствах более одного управляемого моста параметры рулевых трапеций каждого управляемого моста должны обеспечивать поворот управляемых колес на разные углы. При неоптимальных параметрах рулевых трапеций и рулевого привода нарушается управляемость транспортного средства, стабилизация управляемых колес, уменьшается долговечность шин, увеличивается расход топлива.*

*В работе предложен алгоритм расчета кинематических параметров четырехзвенной рулевой трапеции на основе плоской модели. В среде Microsoft Excel проведены расчеты теоретических и реальных углов поворота управляемых колес, проведена оптимизация базовых координат рычага рулевой трапеции. Построены графики зависимостей разницы между теоретическими и реальными углами поворота колес первого и второго мостов автомобиля КрАЗ-7634 HE. Определены границы оптимальных координат базовой точки. Установлено, что для первого управляемого моста существующая конструкция рулевой трапеции обеспечивает удовлетворительную кинематику поворота. Для второго управляемого моста целесообразно изменить расположение базовой точки  $A_0$ , переместив ее в зону оптимальных координат. Это позволит уменьшить разницу между теоретическими и реальными углами поворота внутреннего и внешнего управляемых колес и улучшить кинематику поворота.*

*Предложенный подход обеспечивает повышение точности и скорости расчетов. Разработанный алгоритм позволяет анализировать влияние конструктивных параметров любого автомобиля на кинематику поворота и проводить оптимизацию конструктивных параметров. Применение модуля «Поиск решения» среды Microsoft Excel не требует сложных математических операций для проведения оптимизации. Кинематика реального пространственного рулевого привода, от которой зависит соотношение между углами поворота колес первого и второго управляемых мостов, а также вопросы влияния наклонов шкворней на точность расчетов требуют дополнительных исследований.*

**Ключевые слова:** рулевая трапеция, кинематика поворота, оптимизация, угол поворота, управляемые колеса.

**Черненко Сергей Михайлович** – канд. техн. наук, доцент кафедры автомобилей и тракторов, e-mail: [sercher174@gmail.com](mailto:sercher174@gmail.com).

**Климов Эдуард Сергеевич** – канд. техн. наук, доцент, и.о. зав. кафедры автомобилей и тракторов.

**Черныш Андрей Анатольевич** – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры автомобилей и тракторов.

**Пузырь Руслан Григорьевич** – д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения.