

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Щербина Андрій Васильович



УДК 629.113

**ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КУТІВ СХОДЖЕННЯ КЕРОВАНИХ КОЛІС
ПЕРЕДНЬОПРИВОДНОГО АВТОМОБІЛЯ КАТЕГОРІЇ М1**

Спеціальність 05.22.02 – Автомобілі та трактори

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Автомобілі» Національного транспортного університету (НТУ) Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Грищук Олександр Казимирович
Національний транспортний університет,
проректор з навчальної роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Горбай Орест Зенонович,
Національний університет «Львівська
політехніка», професор кафедри
«Автомобілебудування»;

кандидат технічних наук, доцент
Черненко Сергій Михайлович,
Кременчуцький національний університет імені
Михайла Остроградського, доцент кафедри
«Автомобілів і тракторів».

Захист відбудеться «27» жовтня 2017 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «25» вересня 2017р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С. В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення активної безпеки сучасних автотранспортних засобів лежить в площині подальшого розвитку конструкції керуючого колісного модуля.

Процес контактної взаємодії колеса з опорною поверхнею істотно впливає на тягово-швидкісні властивості автомобіля, його керованість та стійкість, паливну економічність і довговічність шин. Таким чином, від вибору раціональних параметрів елементів конструкції керуючого колісного модуля залежить ефективність колісних машин в цілому.

Проведене автором дослідження вирішує питання раціонального вибору кутів сходження керованих коліс передньоприводного автомобіля категорії М1. Проведені дорожні випробування дозволяють отримати дані про зміну кутів сходження коліс та бокової сили, що діє на керовані колеса в різних режимах руху автомобіля. Такий масив даних з застосуванням механізмів автоматичного регулювання кутів сходження коліс дозволяє отримати мінімальний опір руху і відповідно збільшити паливну економічність автомобіля та довговічність шин. Доцільність застосування систем автоматичного регулювання кутів сходження коліс підтверджено проведеними експериментальними дослідженнями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до НДР «Дослідження механіки та енергетики автомобілів та автопоїздів» № державної реєстрації 0104U003346, що виконується кафедрою «Автомобілі» НТУ та НДР кафедри «Автомобілі» Запорізького національного технічного університету за темою «Робочі процеси агрегатів і механізмів колісних транспортних засобів та їх вплив на експлуатаційні показники» № державної реєстрації 01912.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є покращення експлуатаційних показників передньоприводних легкових автомобілів категорії М 1 шляхом вибору оптимального значення кутів сходження керованих коліс автомобіля.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались наступні **задачі:**

1. Аналіз стану питання щодо впливу кутів встановлення керованих коліс передньоприводного автомобіля на експлуатаційні показники;
2. Розробка математичної моделі зміни кутів сходження коліс під час руху автомобіля;
3. Розробка обладнання з метою визначення величини зміни кута сходження під час руху та зміни бокової сили в плямі контакту колеса з дорогою;
4. Експериментальне визначення динаміки зміни кутів сходження коліс під час руху автомобіля;
5. Аналіз експериментальних і теоретичних досліджень з метою підвищення експлуатаційних показників автомобіля;
6. Розробка рекомендацій щодо вибору оптимального кута сходження керованих коліс передньоприводного автомобіля.

Об'єкт дослідження – зміна кутів сходження коліс передньоприводного автомобіля категорії М1 в залежності від режимів руху.

Предмет дослідження – вплив конструктивних параметрів автомобіля на зміну кутів сходження коліс під час руху автомобіля.

Методи дослідження. Для визначення стану питання та постановки завдань дослідження використані методи збору, вибору і аналізу інформації та системний підхід. У теоретичних дослідженнях процесу зміни кута сходження колеса під час руху автомобіля застосовувалися ітераційні чисельні методи розв'язання кінцевих рівнянь і методи чисельного інтегрування диференціальних рівнянь. Підтвердження теоретичних положень здійснювалось методами експериментальних досліджень та дорожніх випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів:

- удосконалено функціональні залежності, які враховують кути установки коліс та кути нахилу осі повороту колеса і дозволяють визначити координати характерних точок колісного вузла при дослідженні його кінематичних параметрів;
- вперше розроблено математичну модель зміни кутів сходження керуючого колісного модуля від швидкості руху автомобіля, яка дозволяє визначити динаміку зміни кутів сходження під час руху передньоприводного автомобіля.

Практичне значення отриманих результатів складають:

- обґрунтовані в дисертаційній роботі методи визначення кінематичних характеристик керуючого колісного модуля застосовуються для поліпшення експлуатаційних показників автомобілів під час розробки нових моделей транспортних засобів НТЦ ПАТ «ЗАЗ».
- розроблено мобільну науково дослідну лабораторію для дорожніх випробувань колісного керуючого модуля на базі автомобіля DAEWOO-FSO LANOS TF48Y.
- на основі теоретичних та експериментальних досліджень визначені оптимальні початкові кути сходження коліс для різних режимів руху передньоприводного автомобіля категорії M1.
- результати роботи впроваджені в навчальний процес кафедри «Автомобілі» Запорізького національного технічного університету при підготовці фахівців зі спеціальності «Колісні та гусеничні транспортні засоби».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно та опубліковано у 21 наукових працях. Роботи [5, 8, 13-15, 17, 18, 20, 21] написані одноосібно. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачу належать: [1, 10, 11] – постановка задачі та аналіз експлуатаційних показників на які впливають кути установки коліс; [2] – розроблена методика знаходження координат центру автомобільного колеса при різних варіантах його встановлення; [3, 4] – аналіз і класифікація засобів та пристроїв для вимірювання сходження керованих коліс автомобіля; [6, 12] – проведено аналіз систем регулювання кутів сходження коліс автомобіля; [7] – запропоновано математичну модель зміни кутів сходження коліс під час руху автомобіля; [9] – розроблено методику розрахунку кінематичних показників колісного вузла підвіски автомобіля; [16] – проведено аналіз виникнення похибок при роботі різноманітних датчиків на базі мікроелектромеханічних систем; [19] – розробка конструкції пристрою виміру бокової сили, що діє на колесо автомобіля.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях «Наука – образованию, производству, экономике» (м. Мінськ, БНТУ, 2009 р., 2010 р.); на наукових конференціях професорсько-викладацького складу і студентів Національного транспортного університету (м. Київ, НТУ, 2010 р., 2011 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Житомир, 2010 р.); на міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» (м. Кременчук, 2010 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, ВНТУ, 2015 р.); на науково-практичних конференціях «Тиждень науки» (м. Запоріжжя, ЗНТУ 2016 р., 2017 р.); на міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, ВНТУ, 2016 р.); на міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, 2016 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ, АТНУ, 2017 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у 21 друкованих роботах: серед яких 8 – у фахових виданнях, 1 – в іноземному виданні, 3 патенти на корисну модель та 9 праць у тезах та матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота включає в себе анотацію, вступ, основну частину, яка складається з п'яти розділів, висновки, список використаних джерел з 137 найменувань, викладених на 15 сторінках та 3 додатки. Повний обсяг дисертації складає 200 сторінок, з них 160 сторінок основного тексту, 81 рисунок, 2 таблиці та три додатки на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, надані відомості про апробацію та публікації основних положень роботи.

У першому розділі проаналізовано роботи вітчизняних та зарубіжних вчених, які присвячені питанням дослідження кутів встановлення коліс транспортних засобів. Серед проаналізованих робіт праці Є. О. Чудакова, В. О. Іларіонова, А. С. Літвінова, Р. В. Ротенберга, Б. С. Фалькевича, Л. Л. Гінцбурга, Я. М. Певзнера, І. В. Балабіна, Ю. А. Єчеїстова, В. Ф. Платонова, Г. А. Гаспарянца, Г. А. Смірнова, В. І. Кнороза, Є. В. Кленнікова та інших науковців.

Проведений аналітичний огляд останніх наукових досліджень дозволив з'ясувати, що на даний момент характер зміни кутів сходження коліс під час руху автомобіля вивчено не достатньо. Основною складністю в проведенні таких досліджень є відсутність обладнання для дорожніх випробувань, яке дозволило би вимірювати кути сходження під час руху автомобіля, так як непостійність відносного положення коліс і кузова при русі автомобіля, що викликано силами

збурення з боку дороги, створюють значні перешкоди при визначенні справжньої величини кутів сходження коліс в реальних умовах експлуатації.

На основі проведеного аналізу визначені мета та задачі дослідження.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження керуючого колісного модуля легкового автомобіля з урахуванням кутів сходження коліс. Для цього при дослідженні кінематики колісного вузла користувалися спрощеною схемою даного вузла (рис. 1).

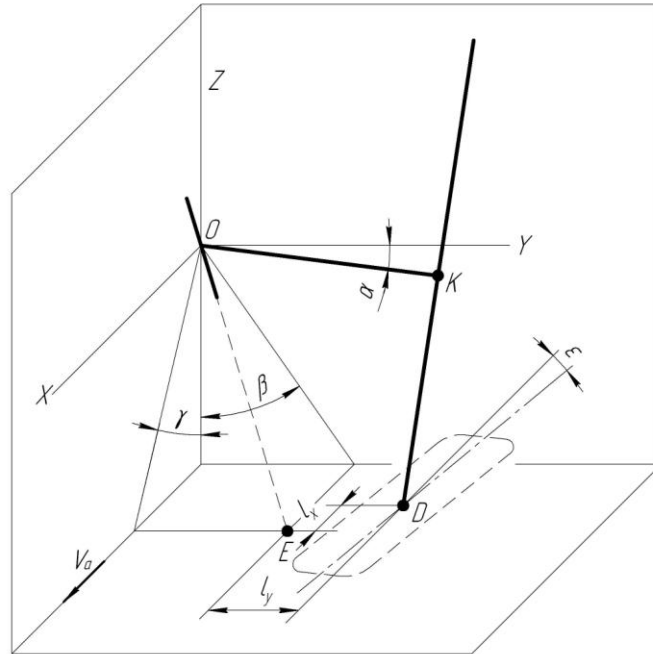


Рисунок 1 – Схема колісного вузла з кутами нахилу осі повороту та колеса

На рисунку 1 прийняті наступні позначення:

т. K – центр колеса автомобіля;

т. D – точка контакту колеса та горизонтальної опорної поверхні;

т. E – точка перетину осі повороту колеса з горизонтальною опорною поверхнею;

т. O – точка перетину осі повороту та цапфи колеса, в якій розміщено початок системи координат $XYZO$;

β , γ – відповідно кути поперечного та поздовжнього нахилу осі повороту колеса;

α – кут розвалу колеса;

ε – кут сходження колеса.

Використовуючи правила аналітичної геометрії, рівняння площини та прямої, а також поворотні матриці були визначені координати характерних точок колісного вузла тобто точок K , E та D відповідно до рівнянь (1 – 3).

$$\begin{aligned} X_K &= l_y \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varepsilon; \\ Y_K &= l_y \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varepsilon; \\ Z_K &= -l_y \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} X_E &= -Z_D \cdot \operatorname{tg} \gamma; \\ Y_E &= -Z_D \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \gamma}; \\ Z_E &= Z_D. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
X_D &= l_y \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \alpha; \\
Y_D &= l_y \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha - \frac{r \cdot \sin \alpha}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \varepsilon}}; \\
Z_D &= -l_y \cdot \sin \alpha - \frac{r \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \varepsilon}}.
\end{aligned} \tag{3}$$

Внаслідок повороту колеса ці координати будуть змінюватися. Для визначення координати характерних точок колісного вузла після повороту колеса на кут θ з урахуванням кутів встановлення як вісі повороту колеса, так і самого колеса застосовано метод поворотних матриць.

$$\begin{aligned}
\begin{pmatrix} X_{i0} \\ Y_{i0} \\ Z_{i0} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \\
&\times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix},
\end{aligned} \tag{4}$$

де θ – кут повороту колеса;

X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0} – координати характерних точок колісного вузла після повороту колеса на кут θ ;

X_i, Y_i, Z_i – координати характерних точок колісного вузла до повороту колеса.

Відомо, що криволінійний рух автомобіля призводить до зміни кута розвалу коліс в результаті їх повороту відносно осі шворня. Кут розвалу, який колесо отримує при своєму повороті на кут θ позначимо як α_θ , а його значення у відповідності до правил аналітичної геометрії було визначено за формулою:

$$\sin \alpha_\theta = \sin \alpha + (\sin \beta + \sin \gamma \cdot \sin \varepsilon) \cdot (1 - \cos \theta) - (\sin \gamma - \sin \beta \cdot \sin \varepsilon) \cdot \sin \theta. \tag{5}$$

На підставі отриманих координат характерних точок були визначенні моменти, що діють на колесо автомобіля.

$$M_{R_x} = R_x \cdot l_y (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \alpha - \cos \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varepsilon - \sin \beta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varepsilon). \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
M_{R_y} &= R_y (-X_D \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + Y_D \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \varepsilon - \\
&- Z_D \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma \cdot \cos \varepsilon + Z_D \cdot \sin \beta \cdot \sin \varepsilon).
\end{aligned} \tag{7}$$

$$M_{R_z} = -R_z (-X_D \cdot \sin \beta + Y_D \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma). \tag{8}$$

При русі автомобіля кути сходження коліс змінюють свої початкові значення, які були встановлені на нерухомому автомобілі в статиці, що

κ_1 – крутильна жорсткість підвіски;

κ_2 – поперечна жорсткість підвіски по зміщенню центра повороту колеса;

α_1 – демпфування по куту;

α_2 – демпфування по поперченому зміщенню центру повороту колеса.

Данні рівняння описують коливання одного колеса відносно центру повороту колеса та його пружне зміщення відносно осі повороту під дією бокових та поздовжніх сил.

Для визначення усталених значень кута сходження колеса як функції параметра швидкості руху автомобіля використовувались ітераційні чисельні методи розв'язання кінцевих рівнянь, аналіз динаміки системи проводився на основі чисельного інтегрування диференціальних рівнянь збуреного руху (був реалізований за допомогою програмного забезпечення Maple 18).

Запропонована математична модель дозволяє визначити оптимальні початкові кути сходження коліс в залежності від конструктивних параметрів автомобіля та його швидкості руху (рис. 3).

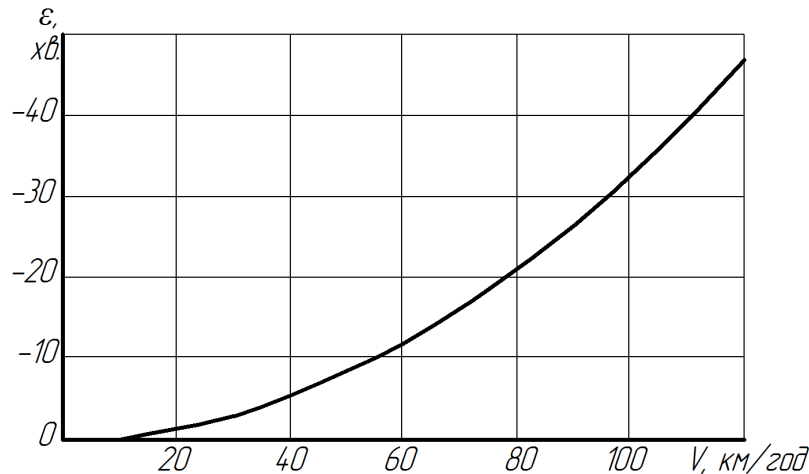


Рисунок 3 – Оптимальні кути сходження коліс при різних швидкостях руху автомобіля

Такі значення кутів сходження коліс дозволяють зменшити кути відведення передньої осі автомобіля та запобігти додатковому зношуванню протектора шини при даній швидкості руху та зменшити сили опору руху.

Для дослідження зміни кутів сходження коліс при криволінійному русі автомобіля використовувалась розрахункова схема, яка представлена на рис. 4.

На основі представленої на рис. 4 розрахункової схеми автомобіля, була створена математична модель передньоприводного автомобіля, яка описується системою рівнянь (10). Дана математична модель дозволяє дослідити кути сходження коліс при криволінійному русі автомобіля.

Перші чотири рівняння системи рівнянь (10) - це рівняння збуреного руху керуючого колісного модуля. Вони представляють собою рівняння обертального руху відносно центру повороту та рівняння поперечного зміщення центру повороту колеса. Останні два рівняння системи рівнянь (10) враховують інерційність всього автомобіля.

де X_{11}^* , X_{12}^* – поздовжня складова сили (проекція на вісь OX), що діє відповідно на ліве та праве колесо;

Y_{11} , Y_{12} – поперечна сила, що діє відповідно на ліве та праве колесо;

M_{11} , M_{12} – момент від дії поперечної сили відповідно на лівому та правому колесі;

l – довжина цапфи колеса;

θ_1 , θ_2 – поточний кут повороту лівого та правого колеса;

θ_{10} , θ_{20} – кут повороту лівого та правого колеса здійснений рульовим керуванням;

$\dot{\theta}_1$, $\dot{\theta}_2$ – кутова швидкість повороту лівого та правого колеса;

α – демпфування по куту;

k – крутильна жорсткість підвіски;

I_1 – осьовий момент інерції одного колеса;

m_1 – маса одного колеса;

y_1 , y_2 – поперечне зміщення осі повороту лівого та правого колеса;

\dot{y}_1 , \dot{y}_2 – швидкість поперечного зміщення центру повороту лівого та правого колеса;

α_1 – демпфування по поперченому зміщенню центру повороту колеса;

k_1 – поперечна жорсткість підвіски по зміщенню центра повороту колеса;

m – маса автомобіля;

J – осьовий момент інерції автомобіля;

ω – кутова швидкість центра мас автомобіля відносно вертикальної осі;

v – прямолінійна швидкість центра мас автомобіля;

u – бокова швидкість центра мас автомобіля;

\dot{u} – бокове прискорення центра мас автомобіля;

a – положення центра мас від передньої вісі;

b – положення центра мас від задньої вісі;

H_0 – відстань від поздовжньої осі автомобіля до центру повороту колеса.

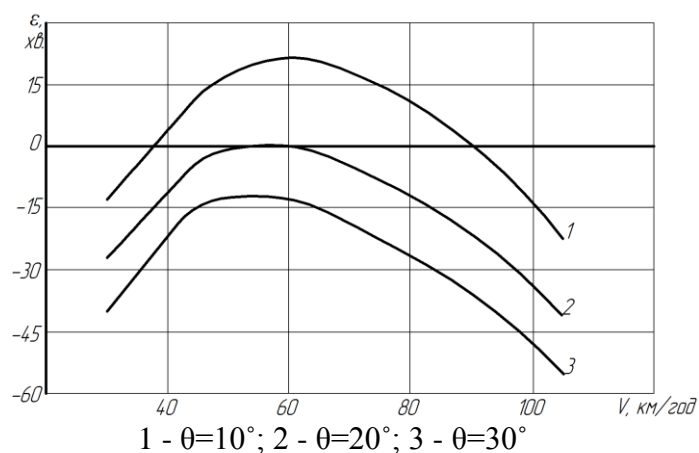
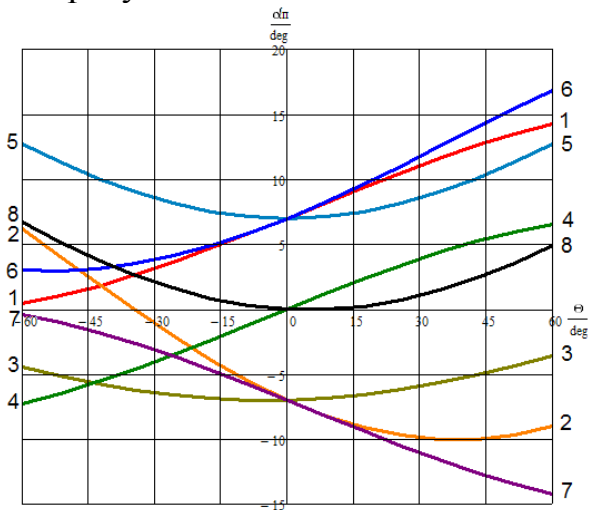


Рисунок 5 – Оптимальні кути сходження коліс при криволінійному русі автомобіля

За допомогою запропонованої математичної моделі були визначені оптимальні початкові кути сходження коліс при криволінійному русі автомобіля для різних кутів повороту коліс автомобіля θ , які представлені на рис. 5.

У третьому розділі представлені результати теоретичних досліджень зміни кута розвалу та моментів сил, які діють на колесо автомобіля під час його повороту. Відомо, що більшу частину часу автомобіль рухається по криволінійній траєкторії з малими або великими кутами повороту коліс, тому при дослідженні кінематики автомобіля великий інтерес представляє зміна конструкційних та експлуатаційних параметрів колісного вузла під час повороту колеса.

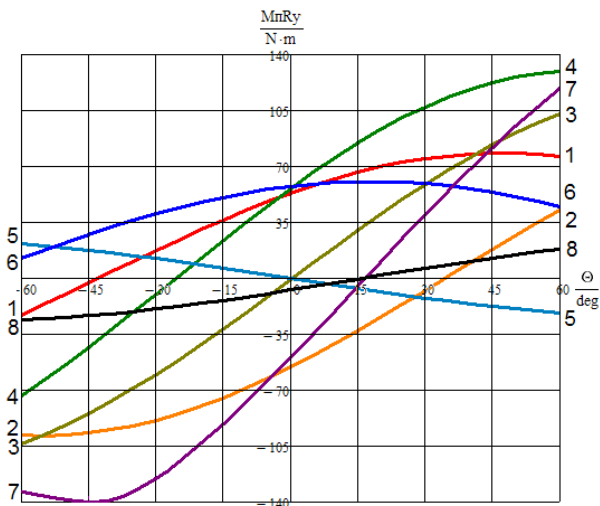


1 – $\beta=0^\circ$, $\gamma=8^\circ$, $\alpha=7^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$; 2 – $\beta=12^\circ$, $\gamma=-8^\circ$, $\alpha=-7^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$; 3 – $\beta=6^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=-7^\circ$, $\varepsilon=-5^\circ$;
4 – $\beta=0^\circ$, $\gamma=8^\circ$, $\alpha=0^\circ$, $\varepsilon=-5^\circ$; 5 – $\beta=12^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=7^\circ$, $\varepsilon=0^\circ$; 6 – $\beta=6^\circ$, $\gamma=8^\circ$, $\alpha=7^\circ$, $\varepsilon=0^\circ$;
7 – $\beta=0^\circ$, $\gamma=-8^\circ$, $\alpha=-7^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$; 8 – $\beta=12^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=0^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$.

Рисунок 6 – Зміна кута розвалу внаслідок повороту колеса



Рисунок 7 – Зміна моменту від вертикальної сили внаслідок повороту колеса



1 – $\beta=0^\circ$, $\gamma=8^\circ$, $\alpha=7^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$; 2 – $\beta=12^\circ$, $\gamma=-8^\circ$, $\alpha=-7^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$; 3 – $\beta=6^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=-7^\circ$, $\varepsilon=-5^\circ$;
4 – $\beta=0^\circ$, $\gamma=8^\circ$, $\alpha=0^\circ$, $\varepsilon=-5^\circ$; 5 – $\beta=12^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=7^\circ$, $\varepsilon=0^\circ$; 6 – $\beta=6^\circ$, $\gamma=8^\circ$, $\alpha=7^\circ$, $\varepsilon=0^\circ$;
7 – $\beta=0^\circ$, $\gamma=-8^\circ$, $\alpha=-7^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$; 8 – $\beta=12^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\alpha=0^\circ$, $\varepsilon=5^\circ$.

Рисунок 8 – Зміна моменту від бокової сили внаслідок повороту колеса

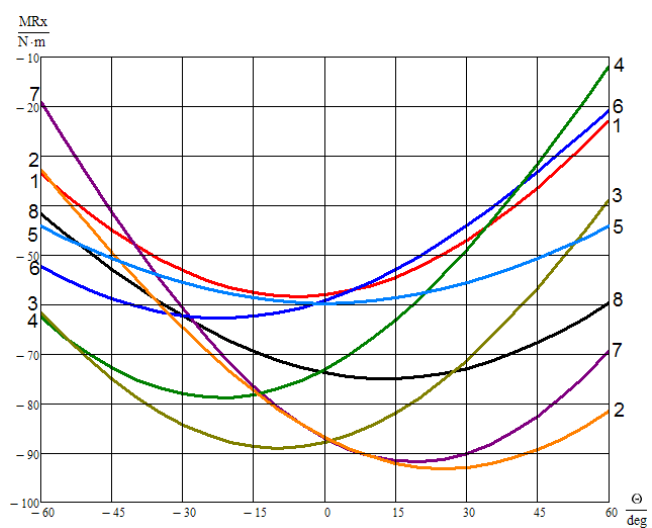


Рисунок 9 – Зміна моменту від поздовжньої сили внаслідок повороту колеса

Варіюючи такі параметри як кути розвалу та сходження колеса, а також поперечний та поздовжній кути нахилу осі повороту колеса, були розглянуті

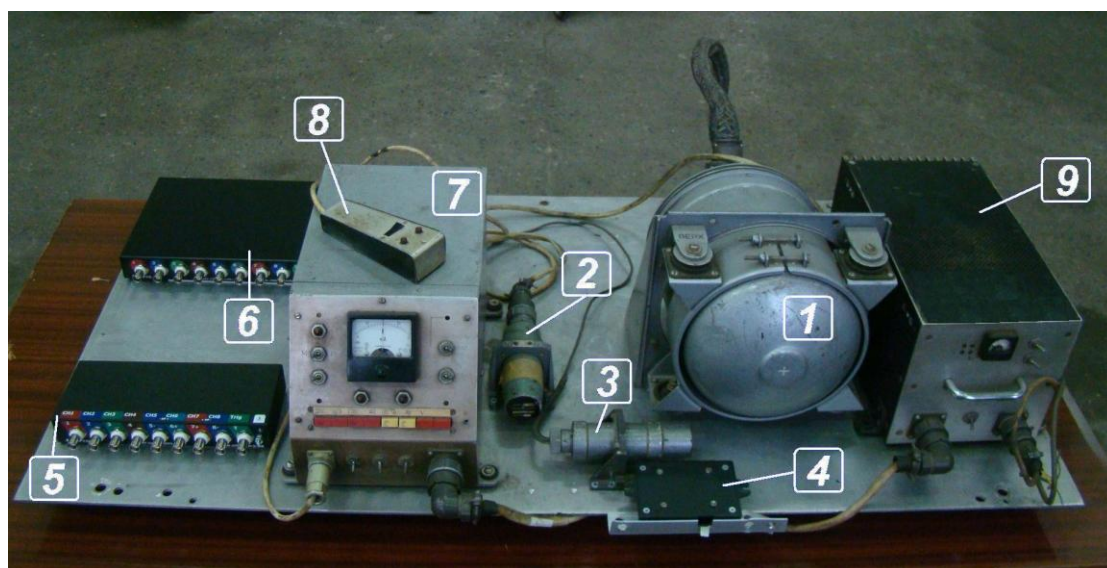
зміна кута розвалу та моментів на колесах під час їх повороту, отримані графіки представлені на рисунках 6-9. Отримані дані дозволили наочно побачити вплив кожного з кутів встановлення колеса та його осі повороту на досліджувані параметри, які мають велике значення не тільки для стабілізації керованих коліс, але і впливають на різні експлуатаційні показники автомобіля.

Було встановлено, що найменший вплив на величину цих параметрів під час повороту колеса має кут сходження колеса. Але різниця в розрахунках даних параметрів без врахування та з врахуванням значення кута сходження складає від 2 до 7% в залежності від величини самого кута сходження та кута повороту колеса.

У четвертому розділі наведено мету, задачі, програму, прилади, обладнання та об'єкт експериментальних досліджень. В дисертаційній роботі дорожні випробування прийняті у якості основного методу експериментальних досліджень передньоприводного автомобіля категорії М1.

Для ефективного проведення дорожніх випробувань на кафедрі «Автомобілі» Запорізького національного технічного університету була розроблена та створена науково-дослідна лабораторія. Дана лабораторія була створена на базі передньоприводного автомобіля Lanos який був наданий «Запорізьким Автомобілебудівним Заводом». Ця лабораторія має удосконалений комплекс вимірювальної та реєструючої апаратури з можливістю визначення зміни кутів сходження коліс на різних режимах руху автомобіля.

Вимірювальну та реєструючу апаратуру було закріплено до коліс і крил автомобіля та встановлено на алюмінієву плиту з жорстким кріпленням її до кузова автомобіля на місці заднього сидіння. На рисунках 10-14 представлено загальний вид автомобіля та апаратура, яку використано при випробуваннях.



- 1 – гіроскоп ЦГВ-5; 2 – датчик кутових прискорень ДУСУ-45 АС; 3 – акселерометр МП95;
 4 – багатодатчиковий модуль Steval-mki062v1; 5 – реєструвальний комплекс МtPro4;
 6 – реєструвальний комплекс МtPro 2; 7 – центральний пульт керування;
 8 – дистанційний пульт керування; 9 – блок живлення

Рисунок 10 – Вимірювально-реєструюча апаратура дослідного автомобіля



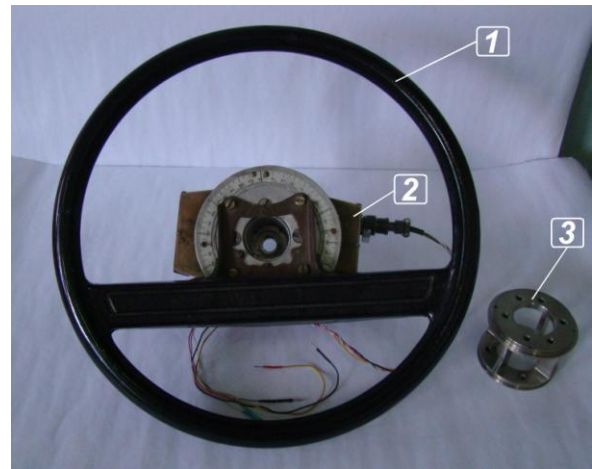
1 – датчик виміру кутів сходження коліс та їх повороту; 2 – «п'яте» колесо вимірювального комплексу

Рисунок 11 – Загальний вид автомобіля з дослідницьким обладнанням



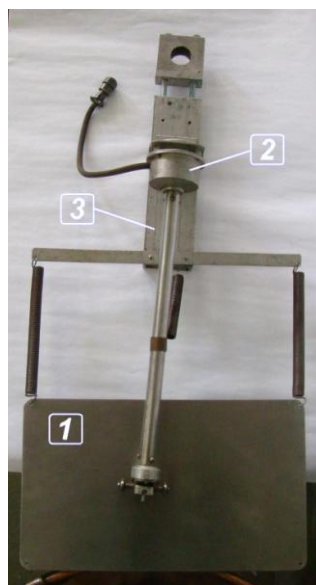
1 – вимірювальне кільце; 2 – тензорезистор з захисним шаром герметика;
3 – підстроювальна плата;
4 – блок живлення

Рисунок 12 – Пристрій виміру бокових сил, що діють на колесо автомобіля



1- рульове колесо; 2- вимірювальний блок;
3 – перехідна втулка

Рисунок 13 – Вимірювальне рульове колесо



1 – опорна поверхня;
2 – вимірювальний пристрій;
3 – кронштейн для кріплення пристрою на крилі та капоті автомобіля

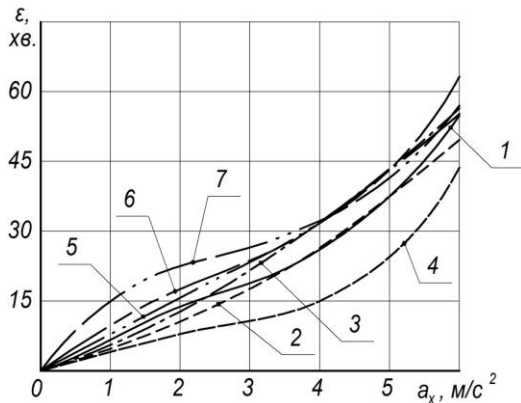
Рисунок 14 – Пристрій для виміру кутів сходження та повороту коліс

За допомогою розробленої апаратури під час проведення експериментальних досліджень визначалися наступні параметри:

- кут сходження коліс;
- бокова сила на керованих колесах;
- кут повороту керованих коліс;
- кут повороту рульового колеса;
- зусилля на рульовому колесі;
- прискорення автомобіля у трьох площинах;
- кути нахилу кузова автомобіля у трьох площинах;
- кутова швидкість повороту поздовжньої вісі автомобіля;
- пройдена відстань автомобілем;
- витрата палива автомобілем;
- швидкість руху автомобіля.

У п'ятому розділі представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень зміни кутів сходження коліс під час руху автомобіля.

Проведені дослідження показали, що найбільша зміна кутів сходження коліс під час руху автомобіля відбувається на перехідних режимах, отримані дані відображено на графіках рис. 15 та рис. 16.



1 — $\epsilon = 0 \text{хв.}$, 2 — $\epsilon = +20 \text{хв.}$, 3 — $\epsilon = +40 \text{хв.}$, 4 — $\epsilon = +60 \text{хв.}$,
5 — $\epsilon = -20 \text{хв.}$, 6 — $\epsilon = -40 \text{хв.}$, 7 — $\epsilon = -60 \text{хв.}$

Рисунок 15 – Зміна кута сходження коліс при русі автомобіля з прискоренням та різними початковими кутами сходження

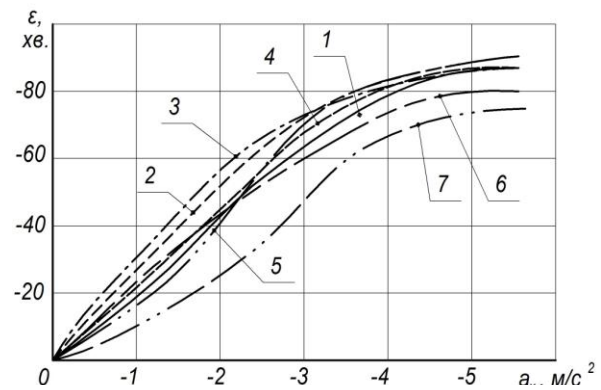


Рисунок 16 – Зміна кута сходження коліс при гальмуванні з різними початковими кутами сходження

При прискоренні автомобіля характерним для всіх графіків з різними початковими кутами сходження є те, що найбільші зміни сходження керованих коліс спостерігаються при русі автомобіля з місця і вони можуть досягати в середньому 50 хвилин.

Було встановлено, що найбільша зміна кутів сходження від початкових значень спостерігається при гальмуванні і складає в середньому 80 хвилин. При цьому застосування гальмування призводить до від'ємного сходження коліс.

На рис. 17 представлені результати експериментальних та теоретичних досліджень зміни кутів сходження коліс від швидкості руху автомобіля.

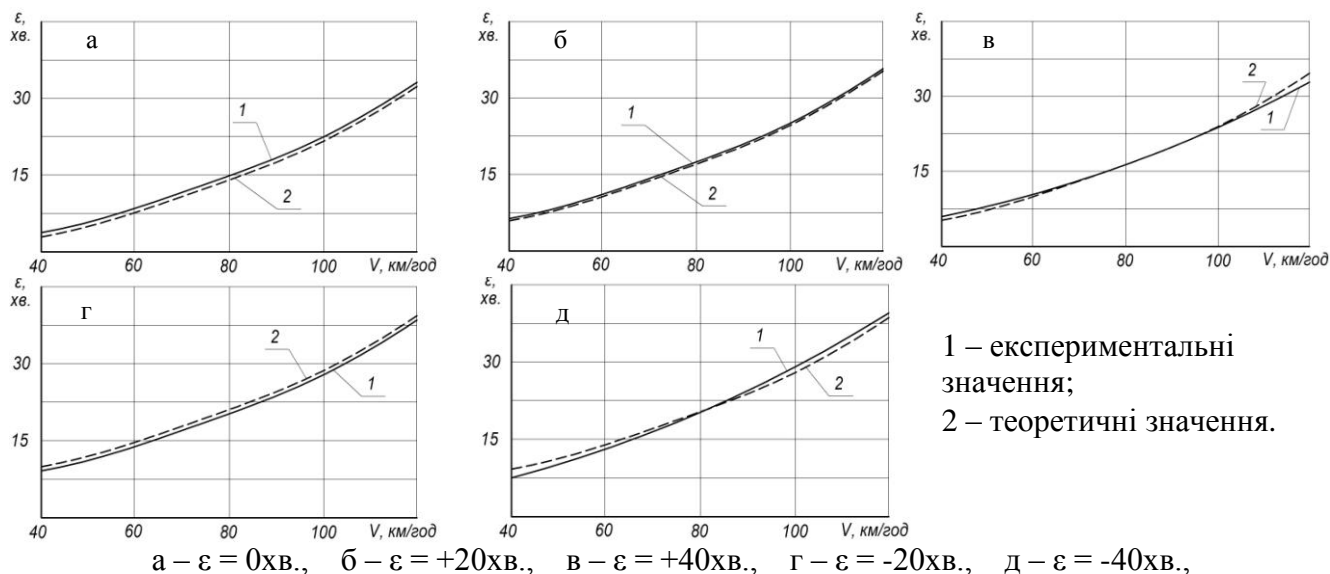
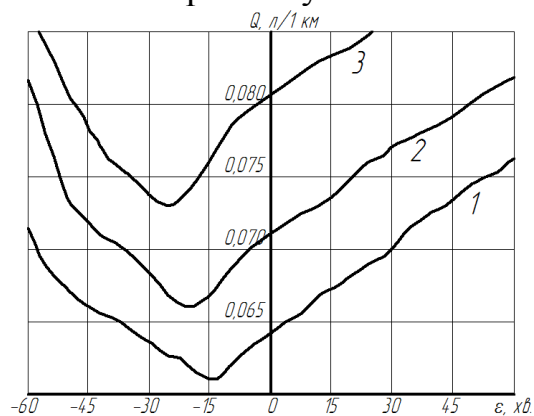


Рисунок 17 – Зміна кута сходження коліс при русі автомобіля з постійною швидкістю та різними початковими кутами сходження

З отриманих залежностей на рис. 17 видно, що зміна кутів сходження коліс починається вже при малих початкових швидкостях, так, при швидкості 40 км/год складає від 3 до 9 хвилин, а при максимальній швидкості руху під час випробувань, 120 км/год, становить 30-37 хвилини. Тобто зі збільшенням сили тяги на колесах вони все більше змінюють своє початкове значення, яке було встановлено в статиці, та зі збільшенням швидкості руху автомобіля наростає інтенсивність зміни кутів сходження коліс.

Порівняльний аналіз результатів експериментальних дорожніх випробувань, крива 1 на рис. 17, з результатами теоретичних розрахункових даних, крива 2, показав, що вони якісно подібні та кількісно відрізняються одна від іншої на 9-11%. Таким чином, можна стверджувати, що аналітичний вираз розрахунку зміни кута сходження коліс при русі із постійною швидкістю узгоджується з результатами експерименту.



1-V=60 км/ч; 2-V=75 км/ч; 3-V=90 км/ч

Рисунок 18 – Залежність витрати палива від кутів сходження

Для дослідження впливу кутів сходження на експлуатаційні показники автомобіля були проведені випробування на паливну економічність автомобіля в залежності від початкових кутів сходження коліс. За результатами випробувань були побудовані експериментальні залежності витрати палива від величини кутів сходження керованих коліс (рис. 18).

Експериментальні дослідження показали, що для швидкості 60 км/год найменша витрата палива 0,061 л/1км відповідає куту сходження - 13 хвилин, для 75 км/год – 0,066 л/1км при куті сходження - 20 хвилин, а для 90 км/год – 0,073 л/1км з кутом сходження - 25 хвилин.

Отримані оптимальні кути сходження за витратою палива співставні з даними, отриманими з математичної моделі, розбіжність складає від 4 до 12%, що говорить про узгодженість розрахункових та експериментальних даних.

Проведені дорожні випробування по дослідженню зміни кутів сходження коліс при русі автомобіля на різних режимах руху показали значну їх зміну. При чому на різних режимах руху автомобіля величина і динаміка зміни кутів сходження різна, тому неможливо підібрати оптимальний кут сходження коліс, який би забезпечував гарні експлуатаційні показники на усіх режимах руху. Для збереження оптимальних кутів сходження коліс необхідне застосування рульового керування та підвіски автомобіля з більшою жорсткістю, що не завжди є доцільним або використовувати механічні чи автоматичні системи підтримки необхідного кута сходження коліс.

Отримані результати випробувань дозволяють одержати базу даних зміни кутів сходження коліс в залежності від траєкторії руху та режиму руху автомобіля. Така база даних з застосуванням механізмів автоматичного регулювання кутів сходження коліс дозволяє отримувати мінімальну бокову силу в точці контакту колеса з дорогою в залежності від режиму руху автомобіля, а це в свою чергу дозволяє підвищити паливну економічність автомобіля та довговічність шин.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу по визначенню впливу кутів сходження коліс при різних режимах руху автомобіля на його експлуатаційні показники.

2. Розроблено методику визначення кінематичних параметрів колісного вузла з урахуванням кутів установки коліс та кутів нахилу шворня. А саме - визначено координати центру колеса та точки контакту колеса з дорогою з урахуванням кутів розвалу та сходження, визначено координати точки перетину осі повороту колеса з дорогою. Отримано залежності, що відображають зміну кінематичних параметрів колісного вузла при повороті колеса.

3. Аналітично одержано залежності, які дозволяють обчислювати моменти від рівнодіючих поздовжніх, бокових та вертикальних реакцій з урахуванням кутів розвалу та сходження коліс, а також кутів поперечного та поздовжнього нахилу шворня.

4. За результатами аналізу кінематичної схеми колісного вузла отримано математичну модель, яка відображає зміну кута сходження під час руху автомобіля.

5. Удосконалено комплекс вимірювально-реєструючої апаратури для дослідження зміни кутів сходження коліс в динаміці.

6. Спроековано і виготовлено випробувально-інформаційний комплекс для визначення бокової сили в точці контакту колеса з дорогою для проведення дорожніх випробувань.

7. Оцінка результатів експериментальних випробувань показала:

- кути сходження найменше змінюються при русі автомобіля з постійною швидкістю, величина зміни кутів сходження досягає 30-40 хвилин;

- при русі автомобіля із прискоренням найбільша зміна кутів сходження відбувається під час рушання автомобіля з місця, коли прискорення найбільші, при цьому зміна кутів сходження досягає 60 хвилин;

- кути сходження змінюються при екстремому гальмуванні ($4-5,5 \text{ м/с}^2$) на величину до 90 хвилин;

- при криволінійному русі з постійною швидкістю спостерігається пропорційна залежність між значеннями кутів сходження та бокових сил, що діють на колесо автомобіля. При бокових прискореннях 7 м/с^2 кут сходження в середньому складає: 45 хвилин, а бокова сила 1500 Н - для внутрішнього колеса по відношенню до центру повороту і, відповідно, кут сходження 90 хвилин та бокова сила 3500 Н - для зовнішнього колеса;

- за результатами випробування «паливна економічність» оптимальний кут сходження, який відповідає мінімальній витраті палива дорівнює мінус 13 хвилин при швидкості 60 км/год, мінус 20 хвилин при швидкості 75 км/год та мінус 25 хвилин при швидкості 90 км/год, при цьому витрата палива у порівнянні з кутами сходження, рекомендованими автовиробником, зменшилась в межах від 3,2 до 9,6%.

8. Підтверджено, що відхилення експериментальних та розрахункових значень кутів сходження коліс при прямолінійному русі автомобіля із постійними швидкостями досягає 9-11%.

9. Аналіз одержаних даних показав, що кожному режиму руху відповідає свій оптимальний кут сходження. Таким чином можна обрати режим руху, що найбільш часто використовується і відповідний для нього кут сходження, або застосовувати механізм автоматичного регулювання кутів сходження, якій би підтримував оптимальні кути сходження для кожного режиму руху.

10. Отримані результати випробувань дозволяють одержати базу даних зміни кутів сходження і бокової сили в залежності від траєкторії руху та режиму руху автомобіля. Така база даних з застосуванням механізмів автоматичного регулювання кутів сходження коліс дозволяє отримувати мінімальну бокову силу в точці контакту колеса з дорогою в залежності від режиму руху автомобіля.

11. Матеріали дисертаційної роботи впроваджені у науково-технічному центрі ПАТ «ЗАЗ» та використовуються при підготовці фахівців зі спеціальності «Колісні та гусеничні транспортні засоби» ЗНТУ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях

1. Грищук О. К. Сходження керованих коліс автомобіля та необхідність його контролю / О. К. Грищук, А. В. Щербина // Автошляховик України. – 2008. – № 1. – С. 14-17.

2. Брильов В. В Розрахунок координат центру автомобільного колеса при різних варіантах його встановлення. / В. В. Брильов, О. К. Грищук,

А. В. Щербина // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2008. – № 4. – С. 36-40.

3. Грищук О. К. Засоби і пристрої для вимірювання сходження керованих коліс автомобіля / О. К. Грищук, А. В. Щербина // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – 2008. – № 15. – С. 67-71.

4. Грищук О. К. Класифікація і аналіз динамічних засобів контролю сходження коліс автомобіля / О. К. Грищук, А. В. Щербина // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2008. – № 7 (Частина 2). – С. 142-146.

5. Щербина А. В. Визначення координат центру колеса при його повороті з урахуванням кутів встановлення шворня та колеса / А. В. Щербина // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2009. – № 11. – С. 98-102.

6. Грищук О. К. Аналіз систем регулювання кутів сходження коліс автомобіля / О. К. Грищук, А. В. Щербина // Автошляховик України. – 2009. – № 12. – С. 176-178.

7. Вербицький В. Г. Дослідження кутів сходження коліс при різних швидкостях руху автомобіля / В. Г. Вербицький, А. В. Щербина // Автомобіль і Електроніка. Сучасні Технології. – 2016. – №10. – С. 81-85.

8. Щербина А. В. Зміна кутів сходження коліс на перехідних режимах руху автомобіля / А. В. Щербина // Автомобіль і Електроніка. Сучасні Технології. – 2016. – №10. – С. 97-102.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав з напрямку

8. Грищук А. К. Расчет координат геометрического центра колеса автомобиля / А. К. Грищук, А. В. Щербина // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. – 2010. – №1. – С. 50-53.

Опубліковані праці апробаційного характеру

10. Грищук А. К. Теоретические исследования сил в пятне контакта колеса с дорогой с учетом улов развала и схождения / А. К. Грищук, А. В. Щербина // Материалы Седьмой международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» Минск: БНТУ, 2009. – С. 313-314.

11. Грищук А. К. Влияние на показатели управляемости и устойчивости автомобиля изменений углов схождения колес при их движении / А. К. Грищук, А. В. Щербина // Материалы Восьмой международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» Минск: БНТУ, 2010. – С. 6.

12. Грищук О. К. Поліпшення показників керованості та стійкості автомобіля за рахунок застосування автоматичних систем регулювання кутів сходження коліс / О. К. Грищук, А. В. Щербина // LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей. – К.: НТУ, 2010. – С. 46-47.

13. Щербина А. В. Визначення впливу кутів встановлення коліс на стійкість автомобіля / А. В. Щербина // LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей. – К.: НТУ, 2011. – С. 40.

14. Щербина А. В. Взаимное влияние жесткости направляющего аппарата подвески и углов схождения колес на управляемость автомобиля / А. В. Щербина // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 19-21 жовтня 2015 року: Збірник наукових праць. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 248.

15. Щербина А. В. Дослідження кутів сходження коліс автомобіля / А. В. Щербина // Тиждень науки. Тези доповідей науково-практичної конференції, 18-22 квітня 2016 року. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 34-35.

16. Дударенко О. В. Использование МЭМС датчиков при испытаниях автомобилей на управляемость и устойчивость / О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина // Матеріали IV-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту»: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С. 15-17.

17. Щербина А.В. Дослідження кутів сходження коліс автомобіля / А.В. Щербина // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 5 квітня 2017 р. – І.Франківськ: Симфонія форте, 2017. – С. 151.

18. Щербина А. В. Вплив кутів установки колісного вузла на момент від бокової сили / А. В. Щербина // Тиждень науки. Тези доповідей науково-практичної конференції, 18–21 квітня 2017 року. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – С. 34-35.

Авторські свідоцтва, патенти

19. Патент на корисну модель № 49868 «Пристрій виміру бокової сили, що діє на колесо транспортного засобу» / О. К. Грищук, А. В. Щербина // зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 11.05.2010, бюлетень №9.

20. Патент на корисну модель № 70947 «Пристрій виміру сил, що діють на колесо транспортного засобу» / А. В. Щербина // зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.06.2012, бюлетень №12.

21. Патент на корисну модель № 90100 «Пристрій виміру сходження коліс та сил, що діють на колесо транспортного засобу» / А. В. Щербина // зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 12.05.2014, бюлетень № 9.

АНОТАЦІЯ

Щербина А. В. Вибір та обґрунтування кутів сходження керованих коліс передньоприводного автомобіля категорії М1. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Національний транспортний університет, Київ, 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-технічної задачі, спрямованої на покращення експлуатаційних показників передньоприводних

легкових автомобілів категорії М 1 шляхом вибору оптимального значення кутів сходження керованих коліс.

Розроблено математичну модель передньоприводного легкового автомобіля. Дана модель дозволяє визначити значення кута сходження колеса як функції параметра швидкості руху автомобіля. Для визначення усталених значень кута сходження колеса як функції параметра швидкості руху автомобіля використовувались ітераційні чисельні методи розв'язання кінцевих рівнянь, аналіз динаміки системи проводився на основі чисельного інтегрування диференціальних рівнянь збуреного руху.

На підставі отриманих даних з математичної моделі були визначенні для даного автомобіля з його конструктивними параметрами найбільш оптимальні кути сходження коліс для різних швидкостей руху автомобіля. Проведеними експериментальними дослідженнями підтверджена адекватність розробленої математичної моделі для дослідження динаміки зміни кутів сходження коліс під час руху автомобіля. Максимальна розбіжність експериментальних та розрахункових значень кутів сходження коліс при прямолінійному русі автомобіля з постійною швидкістю та різними початковими кутами сходження не перевищує 11 %.

Ключові слова: автомобіль, колесо, кут сходження, режим руху, математична модель, дослідження.

АННОТАЦИЯ

Щербина А. В. Выбор и обоснование углов схождения управляемых колес переднеприводного автомобиля категории М1. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 - автомобили и тракторы. – Национальный транспортный университет. – Киев, 2017.

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи, направленной на улучшение эксплуатационных показателей переднеприводных легковых автомобилей категории М1 путем выбора оптимального значения углов схождения управляемых колес.

Используя правила аналитической геометрии, а также поворотные матрицы, были получены функциональные зависимости, которые позволяют определить координаты характерных точек колесного узла с учетом углов установки колес. На основании полученных координат характерных точек получены аналитические выражения для определения моментов относительно оси поворота колеса с учетом углов развала и схождения колес, а также поперечного та продольного угла наклона шкворня.

Разработана математическая модель переднеприводного легкового автомобиля. Данная модель позволяет определить значение угла схождения колеса как функции параметра скорости движения автомобиля. Для определения постоянных значений угла схождения колеса как функции параметра скорости движения автомобиля использовались итерационные численные методы решения конечных уравнений, анализ динамики системы проводился на основе численного интегрирования дифференциальных уравнений возмущенного движения.

На основании полученных данных с математической модели были определены для данного автомобиля с его конструктивными параметрами наиболее оптимальные углы схождения колес для различных скоростей движения автомобиля.

С целью оценки динамики изменения углов схождения на различных режимах движения автомобиля разработана научно-исследовательская лаборатория на базе переднеприводного автомобиля категории М1.

По результатам экспериментальных исследований определено, что наибольшее отклонение углов схождения от их начального значения происходит на переходных режимах. Так, при торможении отклонение углов схождения в среднем составляет 90 минут, а при трогании автомобиля с места отклонение углов схождения может достигать 60 минут.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанной математической модели для исследования динамики изменения углов схождения колес во время движения автомобиля. Максимальное расхождение экспериментальных и теоретических расчетных значений углов схождения колес при прямолинейном движении автомобиля с постоянной скоростью и различными начальными углами схождения не превышает 11 %.

Ключевые слова: автомобиль, колесо, угол схождения, режим движения, математическая модель, исследования.

ABSTRACT

Shcherbyna A. V. Choice and justification of toe angles of the steering wheels front-drive vehicle category M1. – The manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.02 - automobiles and tractors. - National Transport University. - Kyiv, 2017.

Dissertation work is devoted to solving scientific and technological problems aimed at improving operational characteristics front-drive cars M 1 by choosing optimal value toe angles of steering wheels.

Developed the mathematical model is front-drive vehicle. This model allows us to determine the value of toe angle the wheel as a function of the speed parameter of the vehicle. To determine stable values of the toe angle of the wheel as a function of the speed parameter of the car, iterative numerical methods for solving finite equations were used, and the dynamics of the system was analyzed on the basis of numerical integration of the differential equations of the disturbed motion.

Based on these data with mathematical models were defined for this vehicle with its design parameters optimal toe angel wheels for different speeds of the vehicle.

Experimental studies confirmed the adequacy of the developed mathematical models to research the dynamics of changes the toe angles during the movement of the car. The maximum difference between the experimental and theoretical calculated values of the toe angles for a straight-line car with a constant speed and various starting toe angles does not exceed 11%.

Key words: vehicle, wheel, toe angle, mode of movement, mathematical model, research.

Підписано до друку 22.09.2017. Формат 60×90/16.
Папір офсетний. Друк ризографічний. Гарнітура Times.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 117.

Запорізький національний університет

69600, м. Запоріжжя, МСП-41
вул. Жуковського, 66

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 5229 від 11.10.2016.

