

Міністерство освіти і науки України
Національний університет “Львівська політехніка”

Павлюк Василь Іванович



УДК 629.3.017

**ПОКРАЩЕННЯ КЕРОВАНOSTІ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ
В НЕУСТАЛЕНOMУ КРИВОЛІНІЙНОМУ РУСІ**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету (Луцького НТУ) Міністерства освіти і науки України, м. Луцьк.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кузнєцов Руслан Михайлович,
Луцький національний технічний університет,
декан факультету комп'ютерних наук та
інформаційних технологій, доцент кафедри
автомобілів і транспортних технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Макаров Володимир Андрійович,
Донецька академія автомобільного транспорту,
завідувач кафедри “Технічна експлуатація
автомобілів”;

кандидат технічних наук, доцент
Поляков Віктор Михайлович,
Національний транспортний університет,
доцент кафедри “Автомобілі”.

Захист відбудеться 5 лютого 2014 р. о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.20 в Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, корпус XIV, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «___» _____ р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Дубянський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дослідження парку та ринку (структур продажу) нових легкових автомобілів України вказує на те, що найбільший сегмент легкових автомобілів, близько 40%, становлять представники малих класів за європейською класифікацією. Основною відмінною рисою легкових автомобілів малого класу (ЛМК) є їх компактні розміри, економічність і помірна вартість. Незважаючи на компактність і невелику споряджену масу цих автомобілів, кількість місць для сидіння передбачено для п'яти (чотирьох) осіб, що визначає відповідний попит на них. Автомобілі малого класу в більшості випадків мають передньоприводну компоновку, для якої розподіл спорядженої маси на передню і задню осі становить, як правило, 61% і 39%, а повної, відповідно 49% і 51%. Таким чином, навантаження на задню вісь у процесі експлуатації цих автомобілів може збільшитися удвічі. Перерозподіл навантаження між осями визначає експлуатаційні властивості ЛМК.

Для ЛМК актуальним на сьогодні залишається питання підвищення безпеки та надійності, що обумовлено підвищенням ризику травматизму і тяжкості наслідків з пониженням класу транспортних засобів. Для того, щоб запобігти наслідкам помилкових керуючих дій водія, сучасні автомобілі обладнуються допоміжними електронними системами конструкційної безпеки. За результатами досліджень ADAS близько 6 % дорожньо-транспортних пригод у населених пунктах та 36% поза ними відносять до випадків, коли водіям не вдається утримати транспортний засіб в межах смуги руху. Для вивчення причин таких ситуацій необхідне дослідження керованості як експлуатаційної властивості автомобіля, що характеризує здатність транспортного засобу зберігати керованими параметри руху під впливом керуючих дій водія.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до науково-дослідних робіт кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, що виконуються у співпраці з кафедрою автомобілів Національного транспортного університету за темою “Дослідження механіки та енергетики автомобілів і автопоїздів”(№ державної реєстрації 0104U003346).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є покращення керованості легкового автомобіля малого класу з урахуванням завантаження та тиску в шинах його коліс під час руху неусталеними криволінійними траєкторіями шляхом вибору раціонального закону управління передніми керованими колесами.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язувалися такі **задачі**:

- обґрунтування можливості використання клоатоїди, як перехідної кривої, для апроксимації криволінійних траєкторій типових видів маневрування автомобіля;
- удосконалення математичної моделі руху автомобіля перехідними криволінійними траєкторіями з урахуванням компоновальної схеми ЛМК, його завантаження та характеристик шин за боковим відведенням для визначення безпечних умов маневрування;
- розробка методики проведення експериментальних лабораторних та дорожніх досліджень для визначення початкових даних для математичного моделювання та перевірки адекватності моделі;

- моделювання неусталеного криволінійного руху ЛАМК заданими перехідними траєкторіями, характерними для типових маневрів;
- розробка практичних рекомендацій щодо застосування отриманих результатів з метою покращення показників керованості ЛАМК під час неусталеного криволінійного руху.

Об'єкт дослідження – керований неусталений криволінійний рух легкового автомобіля малого класу.

Предмет дослідження – вплив завантаження легкового автомобіля малого класу, характеристик шин за боковим відведенням його осей, закону повороту керованих коліс на показники керованості під час неусталеного криволінійного руху.

Методи дослідження – аналітичні та експериментальні.

Аналітичні методи передбачали математичне моделювання процесу керованого неусталеного криволінійного руху ЛАМК; багатоваріантні розрахунки на персональному комп'ютері показників керованості автомобіля за різного завантаження з урахуванням характеристик шин за бічним відведенням його осей; математичне планування багатofакторного експерименту та статистичну обробку експериментальних даних для визначення характеристик шин за бічним відведенням осей автомобіля.

Експериментальні методи містили лабораторні дослідження для отримання початкових даних для розрахунків параметрів керованості автомобіля за розробленою математичною моделлю та дорожні випробування автомобіля для доведення адекватності моделі.

Наукова новизна результатів полягає:

- в удосконаленні моделі неусталеного криволінійного руху автомобіля перехідними клотоїдними траєкторіями з урахуванням передньоприводної компоновки ЛАМК, змінної швидкості повороту керованих коліс, зміни характеристик бокового відведення осей автомобіля та його завантаження;
- у прогнозуванні траєкторії руху легкового автомобіля малого класу з різними завантаженням і тиском повітря в шинах при маневруванні та показників його керованості за кутовою швидкістю повороту керованих коліс.

Достовірність результатів дослідження забезпечена коректним використанням існуючих математичних методів і основних положень теоретичної механіки і теорії автомобіля, застосуванням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури, засобів математичного опрацювання результатів експериментальних досліджень ЛАМК і підтверджується задовільним збігом результатів аналітичних і експериментальних досліджень, а також узгодженням їх із результатами, отриманими іншими авторами.

Практичне значення результатів роботи становлять:

- методика визначення параметрів керованого неусталеного криволінійного руху автомобіля, яка дозволяє оцінити вплив зміни його маси і характеристик шин у процесі експлуатації на можливість здійснення безпечного маневрування;
- математична модель неусталеного криволінійного руху, що дає можливість визначити необхідні керуючі дії водія з урахуванням характеристик шин за

відведенням, параметрів криволінійного руху автомобіля, його конструкційних та експлуатаційних параметрів;

- алгоритм для визначення траєкторії руху та показників керованості автомобіля під час маневрування за керуючими діями водія на основі розв'язування зворотної задачі;

- методика експериментального визначення характеристик поворотності автомобіля з урахуванням завантаження, розподілу маси по осях, зміни характеристик опору відведенню осей автомобіля.

Результати роботи можуть бути використані для аналізу компоновальних схем, особливостей конструкції автомобілів, як при проектуванні нових ЛАМК, так і при вдосконаленні існуючих. Отримані результати можуть бути використані для уточнення алгоритму роботи допоміжних електронних систем конструкційної безпеки.

Реалізація роботи. Матеріали та результати дисертаційної роботи прийняті до практичного впровадження на дочірньому підприємстві «Автоскладальний завод №1» ПАТ «АК Богдан Моторс» та Спільному польсько-українському товаристві з обмеженою відповідальністю «Алвітранс».

Реалізація результатів роботи підтверджена двома актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно та опубліковані у 9 наукових працях. Роботи [1, 2] написано самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві здобувачу належить: [3] – аналітичне визначення моментів інерції відносно центральної вертикальної осі легкового автомобіля з урахуванням різного завантаження транспортного засобу; [4] – обґрунтування можливості використання клотоїдних кривих для апроксимації траєкторій маневрування транспортного засобу; [5] – обґрунтування можливості використання сталих значень коефіцієнтів опору відведенню осей автомобіля в певних інтервалах величин перерозподілу навантаження між колесами осі; [6] – отримані залежності кутів відведення осей автомобіля від відцентрового прискорення в круговому русі автомобіля; [7] – розробка комплексу експериментального обладнання і апаратури для дорожніх досліджень; [8] – визначені необхідні швидкості повороту керованих коліс як функції часу для перехідних клотоїдних кривих, при виконанні маневрів «поворот 35 м», «переставка 20 м»; [9] – визначений вплив завантаження легкового передньоприводного автомобіля та параметрів неусталеного криволінійного руху на швидкість повороту його керованих коліс.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідались та обговорювались на XXV науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу «Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва» (Луцьк, Луцький НТУ, 2010 р. [10]); на LXIV науково-практичній конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2008 р. [11]; на LXIX науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2013 р. [12]; на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні

аспекти» (Донецьк, ДААТ, 2012 р. [13]); на XVI міжнародній науково-технічній конференції «Автомобільний транспорт: Проблеми і перспективи» (Севастополь, СевНТУ, 2013 р. [14]).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць. З них 8 статей у фахових друкованих виданнях, 1 – в електронному науковому виданні; 5 – у збірниках наукових праць за матеріалами наукових конференцій.

Стаття [7] опублікована у збірнику наукових праць Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, ISSN 2078-6840, що входить до міжнародної бази даних Ulrich's Periodicals Directory.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, основну частину, яка складається з чотирьох розділів, висновків та рекомендацій, списку літературних джерел зі 125 найменувань. Обсяг дисертації – 170 сторінок, з них 140 сторінок основного тексту, 67 рисунків, 12 таблиць та 4 додатки на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну результатів роботи та їх практичне значення, даються відомості про апробацію та публікацію основних положень роботи.

У **першому** розділі проведено літературний огляд, розглянуті напрямки досліджень з питань керованості автомобілів, розглянуто чинники, які впливають на керованість транспортного засобу.

Аналіз конструкційних особливостей легкових автомобілів малого класу вказує на істотний вплив завантаження транспортного засобу на експлуатаційні властивості, зокрема показники керованості. Зміна маси автомобіля і тиску повітря в шинах його коліс у межах, визначених вимогами з технічної експлуатації, суттєво впливають на характеристики шин за боковим відведенням. Конструкція підвіски ЛАМК сприяє крену кузова, що, в свою чергу, зменшує здатність осей передавати бокові сили під час криволінійного руху.

Проаналізовано математичні моделі неусталеного криволінійного руху легкового автомобіля для визначення керуючих дій водія з урахуванням його конструкційних і експлуатаційних параметрів та параметрів криволінійного руху, а також можливість апроксимації траєкторій маневрування перехідними кривими.

Можливість керованого криволінійного руху автомобіля заданою траєкторією з урахуванням бокового відведення його осей визначається певним законом керування. Вплив конструкційних і експлуатаційних параметрів автомобіля на його керованість можна оцінити витратою енергії водієм на керування транспортним засобом. Роботу водія, необхідну для забезпечення курсової та траєкторної керованості, можна оцінити швидкістю повороту керованих коліс.

На основі проведеного аналізу літературних джерел визначено мету і задачі дослідження.

У другому розділі обґрунтовано можливість описання траєкторій маневрування для математичного моделювання неусталеного руху автомобіля, сукупністю клотоїдних перехідних кривих з різними параметрами. Параметром клотоїди, постійної величини кривої – C_k є добуток довжини клотоїди L_k і радіуса в кінці перехідної кривої $R_{k \min}$ (рис.1):

$$C_k = L_k \times R_{k \min} \cdot \quad (1)$$

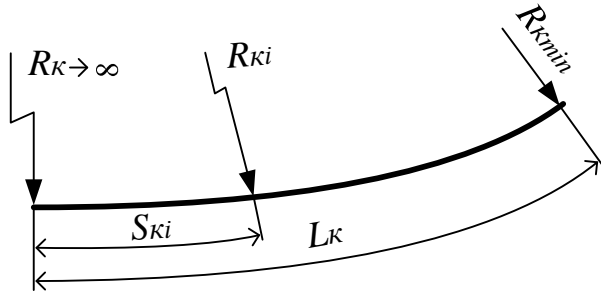


Рисунок 1 – До визначення параметрів клотоїди

Радіус кривини клотоїди у будь якій точці – R_{ki} обернено пропорційний її віддалі S_{ki} від початку перехідної кривої (рис. 1):

$$R_{ki} = \frac{C_k}{S_{ki}} \cdot \quad (2)$$

Встановлено, що для можливості описання траєкторій клотоїдними кривими потрібно володіти інформацією про геометричні обмеження, накладені на динамічний коридор руху при маневруванні.

Розроблено вдосконалену математичну модель неусталеного криволінійного руху ЛАМК на основі моделей, що описують плоскопаралельний рух заданою перехідною траєкторією і враховують переміщення елементів автомобіля у поперечній площині внаслідок крену.

Під час криволінійного руху інерційні сили на порядок вищі від інших зовнішніх збурень. Вплив перерозподілу вертикального навантаження на коефіцієнти опору відведенню та стабілізуючі моменти, закони зміни кутів нахилу коліс досліджено з урахуванням ступеня вільності, що характеризує крен автомобіля під дією зовнішньої відцентрової сили. На основі запропонованого Ф.Д. Халесом методу похідних підвіски, отримано рівняння переміщень елементів автомобіля у поперечній площині з урахуванням кінематики підвіски та характеристик пружних і демпфуючих елементів під час неусталеного криволінійного руху:

$$J_x \times \ddot{\lambda} + 2 \times \dot{\lambda} \times (n_{j12}^2 \times k_{a12} + n_{j34}^2 \times k_{a34}) + 2 \times \lambda \times (n_{j12}^2 \times c_{n12} + n_{j34}^2 \times c_{n34}) = \frac{M_a \times V_a^3 \times t}{C_k} \times n_{yц.м}, \quad (3)$$

де J_x – момент інерції автомобіля відносно горизонтальної поздовжньої осі x , що проходить через його центр мас, $m^2 \cdot кг$;

λ – кут крену підресорених мас автомобіля, $рад$;

n_{ij} – коефіцієнт зміни довжини амортизаційних стійок від кута крену, $m/рад$;

c_{nij} – жорсткість пружин підвіски, H/m ;

k_{aij} – коефіцієнт опору амортизаторів, Hc/m ;

M_a – маса автомобіля, $кг$;

V_a – швидкість руху автомобіля, m/c ;

t – тривалість руху автомобіля перехідною траєкторією, c ;

$n_{yц.м}$ – коефіцієнт поперечного переміщення центру мас автомобіля під час крену, $m/рад$.

Наведена залежність дозволяє враховувати вплив характеристик елементів ходової частини автомобіля та параметрів неусталеного криволінійного руху транспортного засобу на величину його крену.

Оскільки завданням роботи є дослідження впливу маси ЛАМК та характеристик шин за боковим відведенням на керуючі дії водія в умовах неусталеного криволінійного руху, то в моделі пропонується остаточно розглянути тільки два ступені вільності руху – рух автомобіля в поперечній площині та поворот його навколо центральної вертикальної осі, використовуючи за незалежні змінні – параметри перехідних кривих та швидкість руху. При цьому враховано зміну характеристик шин за боковим відведенням в процесі криволінійного руху транспортного засобу.

За основу у розрахунковій моделі прийнято систему диференціальних рівнянь для визначення кутів відведення осей автомобіля δ_{12} , δ_{34} , отриману аналогічно до запропонованої А.С. Литвиновим, з системи рівнянь плоскопаралельного руху автомобіля для одномасової моделі з урахуванням особливостей передньоприводної компоновки автомобіля за умови сталої швидкості руху ($V_a = \text{const}$):

$$\begin{cases} M_a \left\{ \frac{V_a}{L} [b \times (\dot{\theta}_{12} - \dot{\delta}_{12}) - a \times \dot{\delta}_{34}] + \frac{V_a^2}{L} (\theta_{12} - \delta_{12} + \delta_{34}) \right\} = R_{y12} + R_{y34} + R_{k12} \times \theta_{12} + P'_y; \\ J_z \left[\frac{V_a}{L} (\dot{\theta}_{12} - \dot{\delta}_{12} + \dot{\delta}_{34}) \right] = a \times R_{y12} - b \times R_{y34} + a \times R_{k12} \times \theta_{12} + M'_z, \end{cases} \quad (4)$$

де M_a – маса автомобіля, $кг$;

V_a – швидкість руху автомобіля, m/c ;

L – колісна база автомобіля, m ;

a, b – відстані до центру мас відповідно від передньої і задньої осей автомобіля, m ;

δ_{12}, δ_{34} – кути відведення передньої і задньої осей, $рад$;

θ_{12} – середнє значення кута повороту керованих коліс передньої осі, $рад$;

R_{y12}, R_{y34} – бокові реакції опорної поверхні, виражені функціями кутів відведення $R_{yij} = K_{Yij} \times \delta_{ij}$, прикладені до кожної з осей, H ;

R_{k12} – реакція опорної поверхні на прикладену силу тяги, H ;

P'_y – додатково враховані сили, що діють на автомобіль в поперечній площині, H ;

J_z – момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі z , що проходить через його центр мас, $m^2 \text{ кг}$;

M'_z – додатково враховані моменти відносно вертикальної осі автомобіля z , $H\text{м}$.

Рівняння для визначення швидкості повороту керованих коліс $\dot{\theta}_{12}$ отримане з умови прямування заданою кривою, яке виражається рівністю миттєвих радіусів кривини перехідної кривої R_κ і траєкторії, що описує центр мас автомобіля R_a , та рівністю приросту радіусів в кожній із точок цих кривих за нескінченно малий проміжок часу, тобто, рівність похідних цих радіусів $\dot{R}_\kappa = \dot{R}_a$:

$$\begin{pmatrix} \dot{C}_\kappa \\ \dot{S}_\kappa \end{pmatrix}_t = \left(\frac{L}{\theta_{12} + \delta_{34} - \delta_{12} - \frac{1}{V_a} [a \times \dot{\delta}_{34} - b \times (\dot{\theta}_{12} - \dot{\delta}_{12})]} \right)_t. \quad (5)$$

Остаточно, після математичних перетворень, отримана система диференціальних рівнянь першого порядку для визначення кутів відведення осей автомобіля, кута повороту його керованих коліс та швидкості їх зміни, за умови руху автомобіля заданою перехідною траєкторією:

$$\begin{cases} \dot{\delta}_{12} = A_{11} \times \delta_{12} + A_{12} \times \delta_{34} + A_{13} \times \theta_{12} + A_{14}; \\ \dot{\delta}_{34} = A_{21} \times \delta_{12} + A_{22} \times \delta_{34} + A_{23} \times \theta_{12} + A_{24}; \\ \dot{\theta}_{12} = A_{31} \times \delta_{12} + A_{32} \times \delta_{34} + A_{33} \times \theta_{12} + A_{34}, \end{cases} \quad (6)$$

де A_{ij} – коефіцієнти, отримані в результаті математичних перетворень, що враховують конструкційні і експлуатаційні параметри автомобіля, характеристики шин за боковим відведенням, швидкість руху транспортного засобу та параметр криволінійної траєкторії.

Основним показником, який характеризує опір шин боковому відведенню в криволінійному русі, є коефіцієнт опору боковому відведенню осі автомобіля – K_{yij} . Оскільки на коефіцієнт опору боковому відведенню впливає низка чинників та відсутні однозначні аналітичні залежності для його визначення, найкращим способом його отримання є експеримент.

У роботі немає потреби визначати характеристики елементів підвіски і поперечні переміщення автомобіля під час крену, тому достатньо було отримати залежності характеристик шин за боковим відведенням осей від параметрів криволінійного руху, не розглядаючи при цьому окремі взаємозв'язки в середині механічної системи, зокрема у підвісці автомобіля. З цією метою експериментально

визначалися геометричні та інерційно-масові параметри автомобіля і характеристики шин за боковим відведенням осей в дорожніх умовах криволінійного руху з подальшим їх використанням як початкових даних для математичного моделювання.

У **третьому розділі** для отримання характеристик опору відведенню осей автомобіля, запропоновано методику визначення кутів відведення осей на основі дорожніх випробувань автомобіля. Ця методика передбачає визначення кутів відведення коліс осей автомобіля у функції відцентрового прискорення a_y , що задається вибором швидкості руху автомобіля V_a коловою траєкторією з радіусом R (рис. 2). Кут відведення задньої осі δ_{34} визначався відеозйомкою дорожнього полотна в місці горизонтальної проекції на дорогу середини задньої осі автомобіля, а передньої осі δ_{12} визначався графо-аналітично з урахуванням кута повороту керованих коліс θ_{12} , який фіксувався в кожному заїзді.

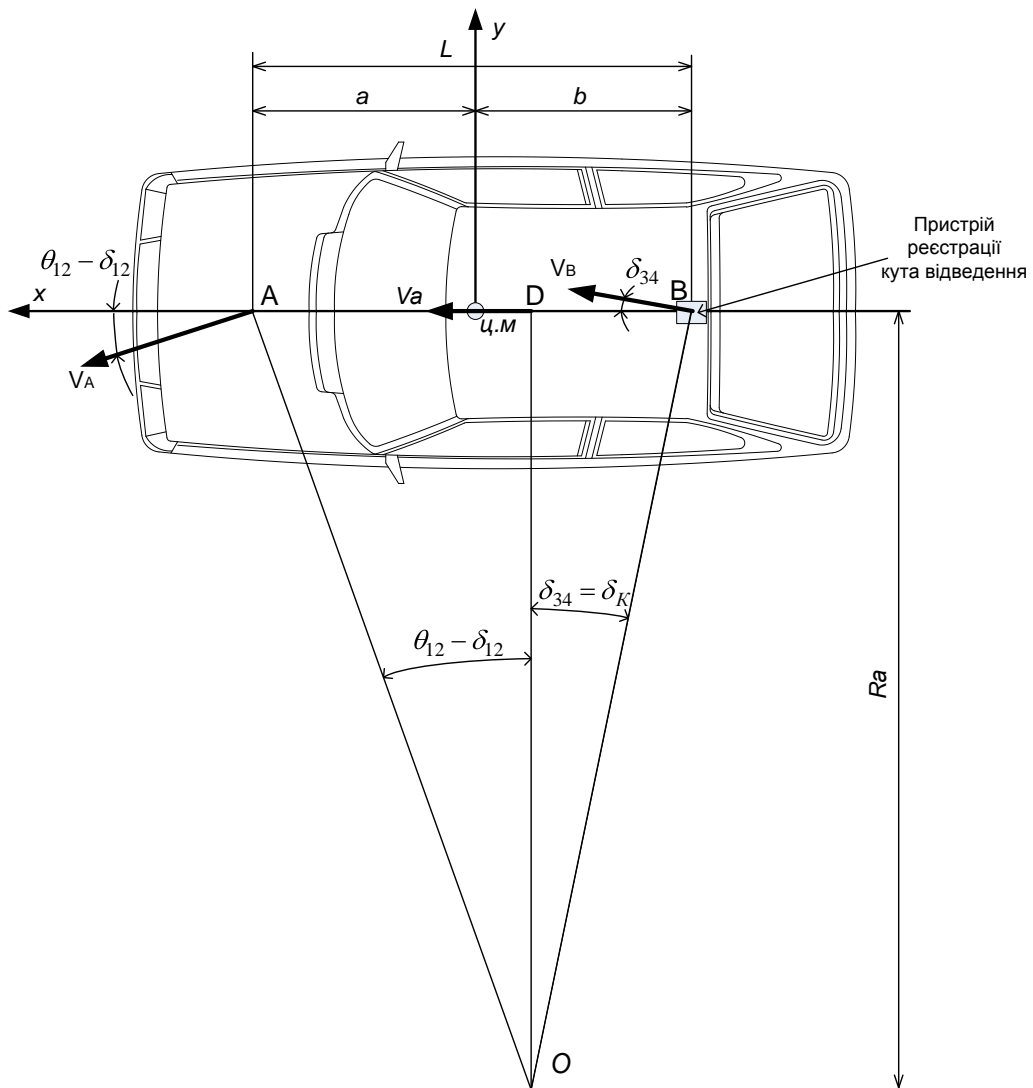


Рисунок 2 – Схема до визначення кутів відведення осей автомобіля

Таким чином реалізована модель експерименту для визначення характеристик $\delta_{ij} = f(a_y, m_{ij}, p) = f(R_a, V_a, m_{ij}, p)$, де вхідними величинами (факторами) є: радіус траєкторії руху R_a ; параметри, що можуть змінюватися в процесі експерименту –

швидкість автомобіля V_a ; тиск повітря в шинах коліс p ; маса автомобіля з урахуванням розподілу її між передньою – m_{12} , та задньою – m_{34} осями, вихідними величинами (функціями відгуку) – відповідно кути відведення осей δ_{34}, δ_{12} та кут повороту керованих коліс транспортного засобу θ_{12} .

Для проведення експериментальних досліджень з визначення кутів відведення осей автомобіля створений комплекс вимірювально-реєструючої апаратури у вигляді дорожньої лабораторії на базі автомобіля ЗАЗ-11022, який має можливість фіксувати необхідні параметри із заданою точністю і встановлюватися на легковому автомобілі.

Для відеозйомки дорожнього полотна використовувалася відеокамера Logitech Webcam C100 та програмне забезпечення для відеозапису (рис. 3).



Рисунок 3 – Комплект з відеокамерою і розміщення її на автомобілі та фрагмент запису кута відведення його задньої осі

Для фіксації кутів повороту керованих коліс використовуються кільцеві потенціометри, з огляду на простоту конструкції, лінійність і стабільність сигналу. Корпус датчика встановлюється на кузові автомобіля в місці кріплення верхньої опори передньої амортизаційної стійки (рис. 4).

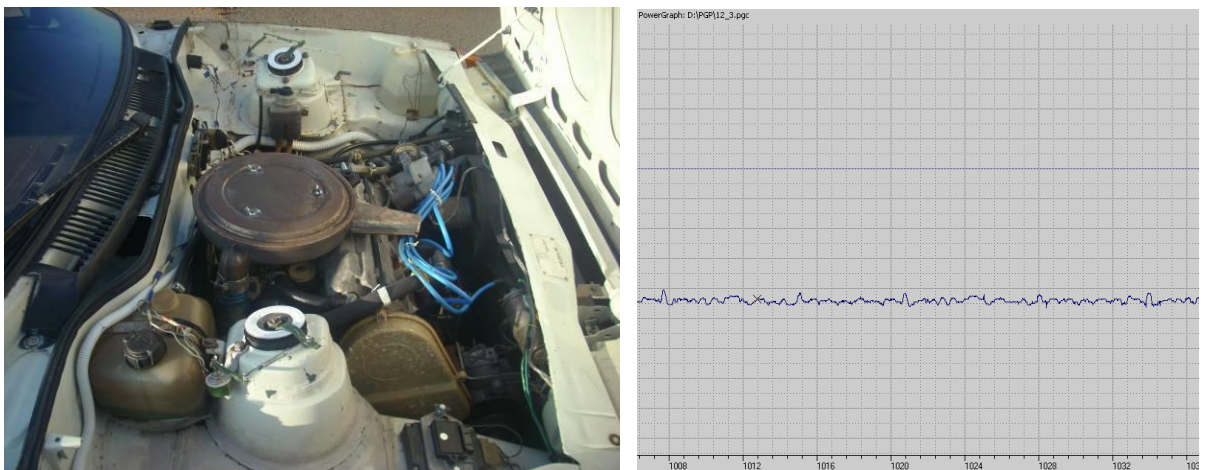


Рисунок 4 – Розміщення на автомобілі датчиків повороту керованих коліс та зразок осцилограми кута повороту керованого колеса

Шток амортизаційної стійки важільним механізмом з'єднувався з рухомих контактом резистора. Необхідною умовою монтажу цього вимірювального обладнання є забезпечення нерухомого зв'язку чашки опорної пружини та

обмежувача ходу за рахунок гвинтового з'єднання кріплення штока амортизаційної стійки. Для візуального контролю на дисках обмежувача ходу закріплено кутові лімби.

Для визначення кута повороту центральної поздовжньої осі автомобіля (курсового кута) використовувався гіронапівкомпас ГПК-52 (рис. 5).

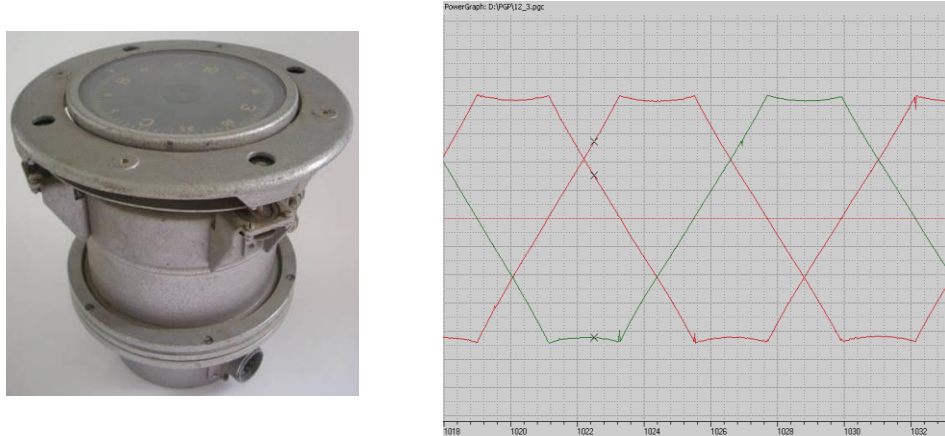


Рисунок 5 – Гіронапівкомпас ГПК-52 та осцилограма запису курсового кута

Електричний сигнал з датчиків надходив у зовнішній модуль – аналогово-цифровий перетворювач Е14-140, а після перетворення реєструється ЕОМ за допомогою програмного забезпечення Power Graph (рис. 6).

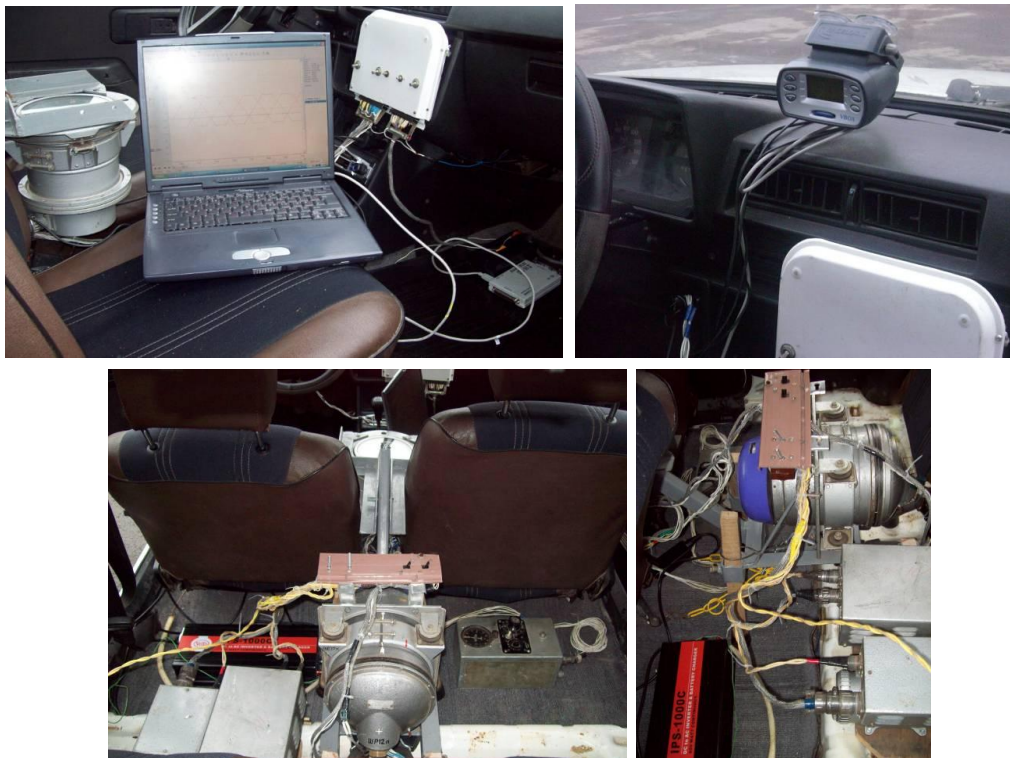


Рисунок 6 – Розміщення обладнання та агрегатів на автомобілі

У розробленому плані експерименту швидкість руху автомобіля V_a визначена інтервалом значень 5,6–11,1 м/с; тиск повітря в шинах коліс – $p = 0,15\text{--}0,25\text{МПа}$; маса автомобіля $M_a = 921\text{--}1175\text{ кг}$ з урахуванням розподілу її між передньою –

$m_{12} = 560\text{--}590$ кг, та задньою – $m_{34} = 361\text{--}585$ кг осями коліс. При цьому радіус колової траєкторії руху $R = 20$ м. Контроль швидкості проводився за допомогою приладу VBOX (рис. 6). Розподіл маси на колеса кожної з осей досягався завантаженням автомобіля баластним вантажем і контролювався зважуванням.

У результаті статистичної обробки даних експерименту отримані рівняння регресії для визначення кутів відведення осей автомобіля.

Кути відведення у функції параметрів автомобіля і швидкості його руху:

- передньої осі:

$$\delta_{12} = 0,38 - 1,23 \times 10^{-3} m_{12} + 1,21 p_{12} - 3,85 \times 10^{-2} V_a - 1,78 \times 10^{-3} m_{12} p_{12} + 0,59 \times 10^{-4} m_{12} V_a - 7,12 \times 10^{-2} p_{12} V_a + 0,10 \times 10^{-5} m_{12}^2 + 0,55 p_{12}^2 + 1,76 \times 10^{-3} V_a^2; \quad (5)$$

- задньої осі:

$$\delta_{34} = -5,35 \times 10^{-2} + 0,24 \times 10^{-4} m_{34} + 0,68 p_{34} - 0,55 \times 10^{-2} V_a - 5,76 \times 10^{-4} m_{34} p_{34} + 0,10 \times 10^{-4} m_{34} V_a - 4,95 \times 10^{-2} p_{34} V_a + 0,04 \times 10^{-6} m_{34}^2 - 0,27 p_{34}^2 + 1,08 \times 10^{-3} V_a^2. \quad (6)$$

Приклад залежності кутів відведення задньої осі автомобіля δ_{34} (на графіку для наглядності в градусах) від відцентрового прискорення a_y для різного його завантаження (випадки *A*, *B*, *C*) наведено на рисунку 7. (*A* – водій, чотири пасажери і вантаж в багажному відсіку: $M_a=1175$ кг; $m_{12}=590$ кг; $m_{34}=585$ кг; *B* – водій, три пасажери, без вантажу: $M_a=1057$ кг; $m_{12}=584$ кг; $m_{34}=473$ кг; *C* – водій і пасажир на передньому сидінні, без вантажу: $M_a=921$ кг; $m_{12}=560$ кг; $m_{34}=361$ кг).

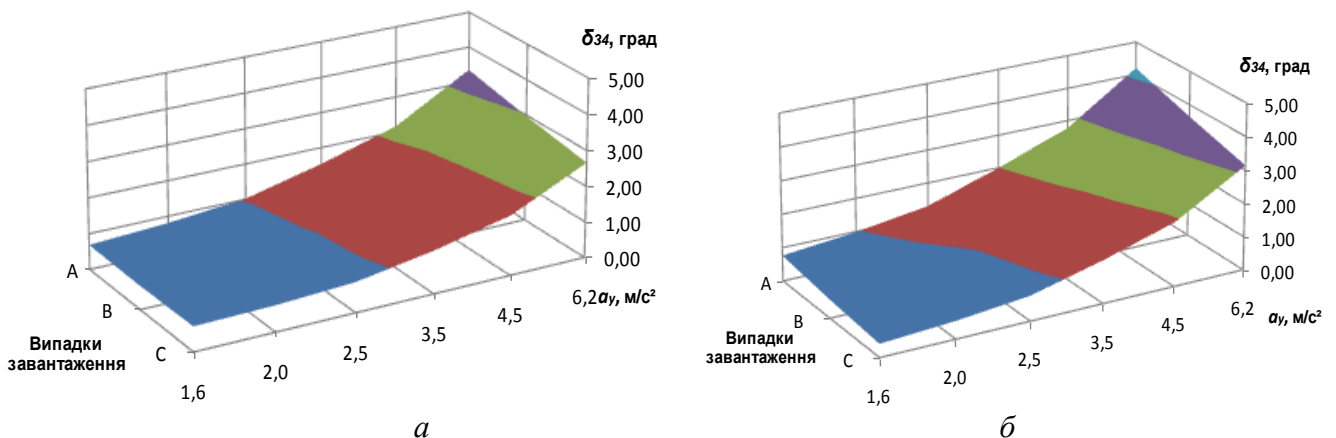


Рисунок 7 – Залежність кута відведення δ_{34} задньої осі автомобіля від відцентрового прискорення a_y для різного його завантаження (випадки *A*, *B*, *C*):

a – за тиску повітря в шинах 0,20 МПа; *б* – за тиску в шинах 0,15 МПа

З урахуванням величини відцентрової сили визначені жорсткісні характеристики шин за боковим відведенням – коефіцієнти опору відведенню осей коліс автомобіля K_{Yij} . Приклад визначених коефіцієнтів опору відведенню, як функцій відцентрового прискорення з урахуванням завантаження автомобіля та тиску повітря в шинах $K_{Yij} = f(a_y, m_{ij}, p_{ij})$ наведено на рисунку 8.

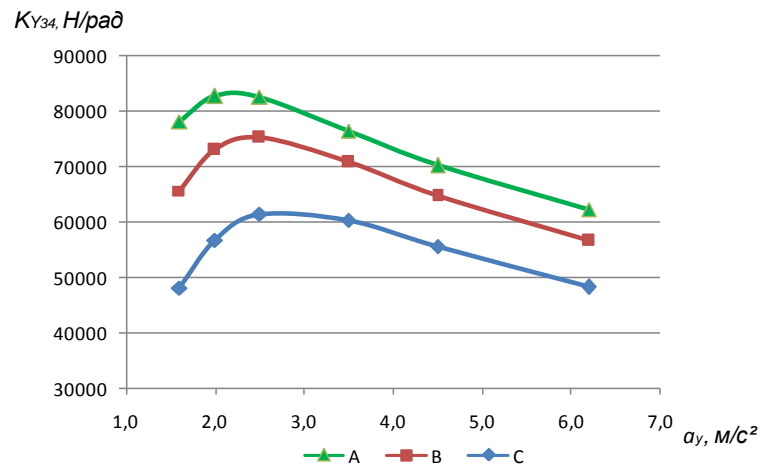


Рисунок 8 – Залежність коефіцієнта опору відведенню задньої осі $K_{Y34} = f(a_y)$ для різних випадків завантаження автомобіля A, B, C ; тиск у шинах $p_{34}=0,20$ МПа

Значення отриманих коефіцієнтів опору відведенню враховуються під час математичного моделювання неусталеного криволінійного руху автомобіля.

У **четвертому розділі** наведено результати математичного моделювання неусталеного криволінійного руху. Для моделювання неусталеного криволінійного руху вибрано два типових маневри, що передбачені нормативною документацією на проведення випробувань керованості: «поворот 35 м», «переставка 20 м». Розмітка дорожніх випробувань визначає межі динамічного коридору руху при маневруванні. Траєкторії руху представлені клотоїдами. Параметри перехідних кривих, та їх сталі величини визначено графо-аналітично. Для маневрів «поворот 35 м» і «переставка 20 м» параметри клотоїди становлять відповідно 557 та 124.

У результаті моделювання руху автомобіля заданими перехідними кривими з урахуванням сталих значень параметра клотоїди – C_k та швидкостей руху автомобіля V_a , визначені необхідні кутові швидкості повороту керованих коліс для різного його завантаження (випадки A, B, C), та різних значень тиску повітря в шинах. Приклад таких залежностей наведено на рисунку 9. Дорожніми випробуваннями визначено, що період становлення показників криволінійного руху t_c становить близько 60% тривалості руху клотоїдною кривою t_k .

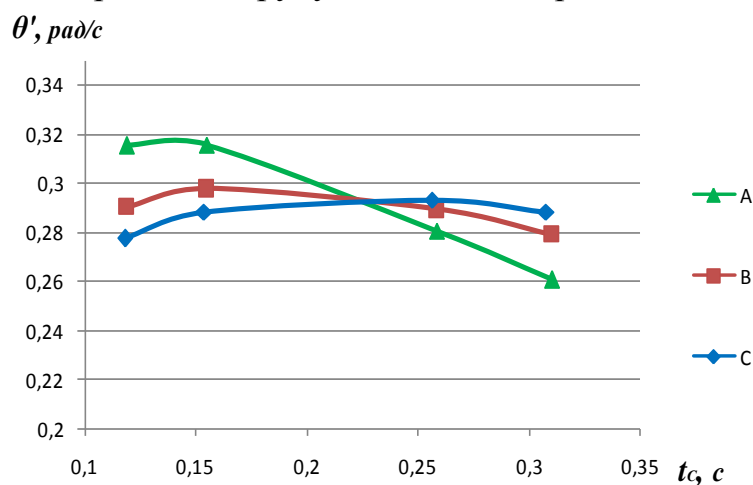


Рисунок 9 – Залежність кутової швидкості повороту керованих коліс автомобіля для різного його завантаження (випадки A, B, C) за умови сталих: параметра кривої $C_k=124$, швидкості автомобіля $V_a=11,6$ м/с та тиску повітря в шинах $p_{12,34}=0,15$ МПа; тривалість руху – $t_k=0,52$ с

Для встановлення адекватності результатів теоретичних досліджень проведено дорожні випробування автомобіля. Відхилення розрахункових та експериментальних даних при маневруванні становлять у визначенні: курсового кута до 7%; швидкості повороту керованих коліс до 11%; граничної швидкості виконання маневру до 9%.

У роботі запропоновано також розв'язання зворотної задачі – прогнозування траєкторії руху та показників керованості автомобіля за керуючими діями водія, визначеними характером повороту керованих коліс. Це дає можливість стабілізації руху автомобіля за допомогою електронних систем його конструкційної безпеки у випадку невідповідності реальних умов руху розрахунковим, визначеним прогнозуванням.

Для реалізації такого прогнозу потрібно володіти масивом залежностей, що відображають характер повороту керованих коліс автомобіля залежно від умов його руху – $\dot{\theta}_{12} = f(C_k, V_a, p_{ij}, m_{ij})$. За результатами моделювання руху автомобіля за розробленою математичною моделлю і визначеними початковими даними встановлено, що на характер керуючих дій водія істотно впливають конструкційні і експлуатаційні параметри автомобіля (розподіл навантаження на осі автомобіля та величина тиску повітря в шинах). Для кривих вищезгаданих маневрів за максимальних швидкостей руху зміна навантаження у вказаних межах призводить до зміни швидкості повороту керованих коліс до 10%, а зміна тиску повітря в шинах – до 28%.

Доцільність врахування впливу параметрів криволінійного руху на керування транспортним засобом з урахуванням різних значень швидкостей потребує, очевидно, обґрунтування. З цією метою здійснено моделювання неусталеного криволінійного руху криволінійними кривими з різними параметрами C_k для визначення необхідної кутової швидкості повороту керованих коліс. Приклад залежностей кутової швидкості повороту керованих коліс упродовж перехідного процесу становлення показників руху t_c наведено на рис. 10.

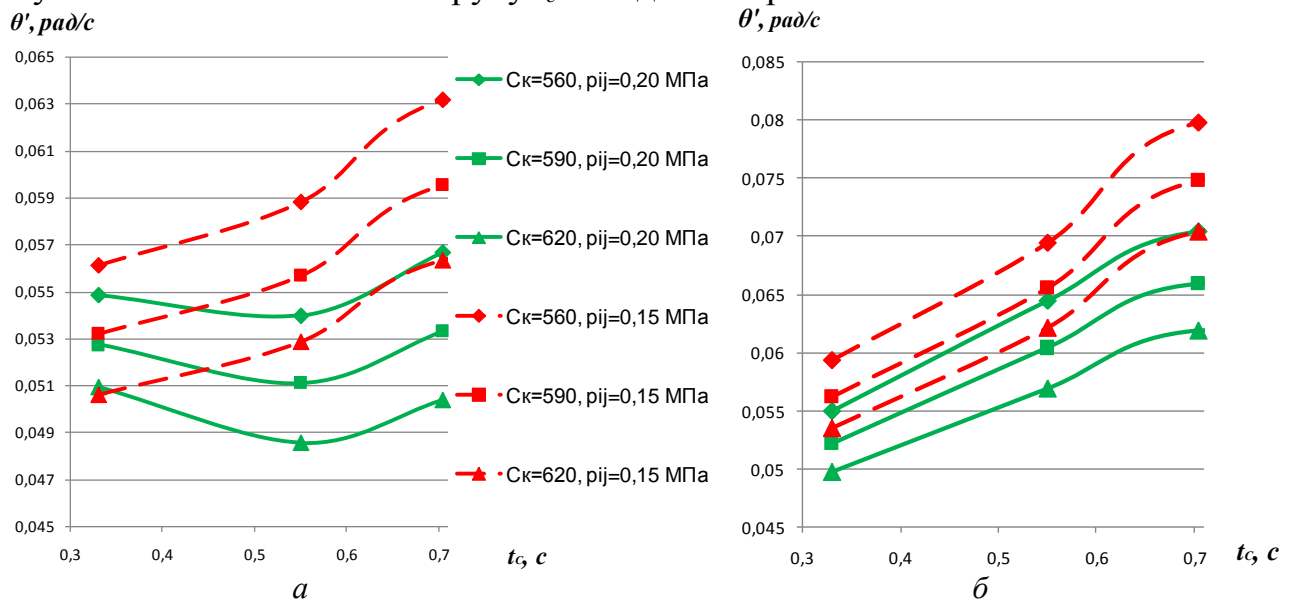


Рисунок 10 – Залежність кутової швидкості повороту керованих коліс для випадку повного завантаження автомобіля (випадок А) та параметрів кривої $C_k=560;590;620$, за умови сталої швидкості автомобіля V_a , тривалості руху $t_k=1,1$ с, $t_c=0,7$ с:

a – для швидкості автомобіля $V_a=13,0$ м/с; b – для швидкості автомобіля $V_a=14,5$ м/с

У виборі параметра C_k різниця між вибраними значеннями становила 5%, а у виборі швидкості V_a – 10%. Різниця значень кутової швидкості повороту керованих коліс в кінці процесу становлення в заданому інтервалі – $C_k=560-620$; $V_a=13,0-14,5$ м/с для наведених варіантів зміни тиску повітря в шинах за різних навантажень на осі досягає 19% та 15% – для наведених варіантів зміни навантаження на осі автомобіля за різних значеннях тиску. Це вказує на потребу врахування впливу параметрів криволінійного руху ЛАМК на формування закону повороту керованих коліс.

Розв'язання запропонованої зворотної задачі можливе за таким алгоритмом дій (рис. 11).

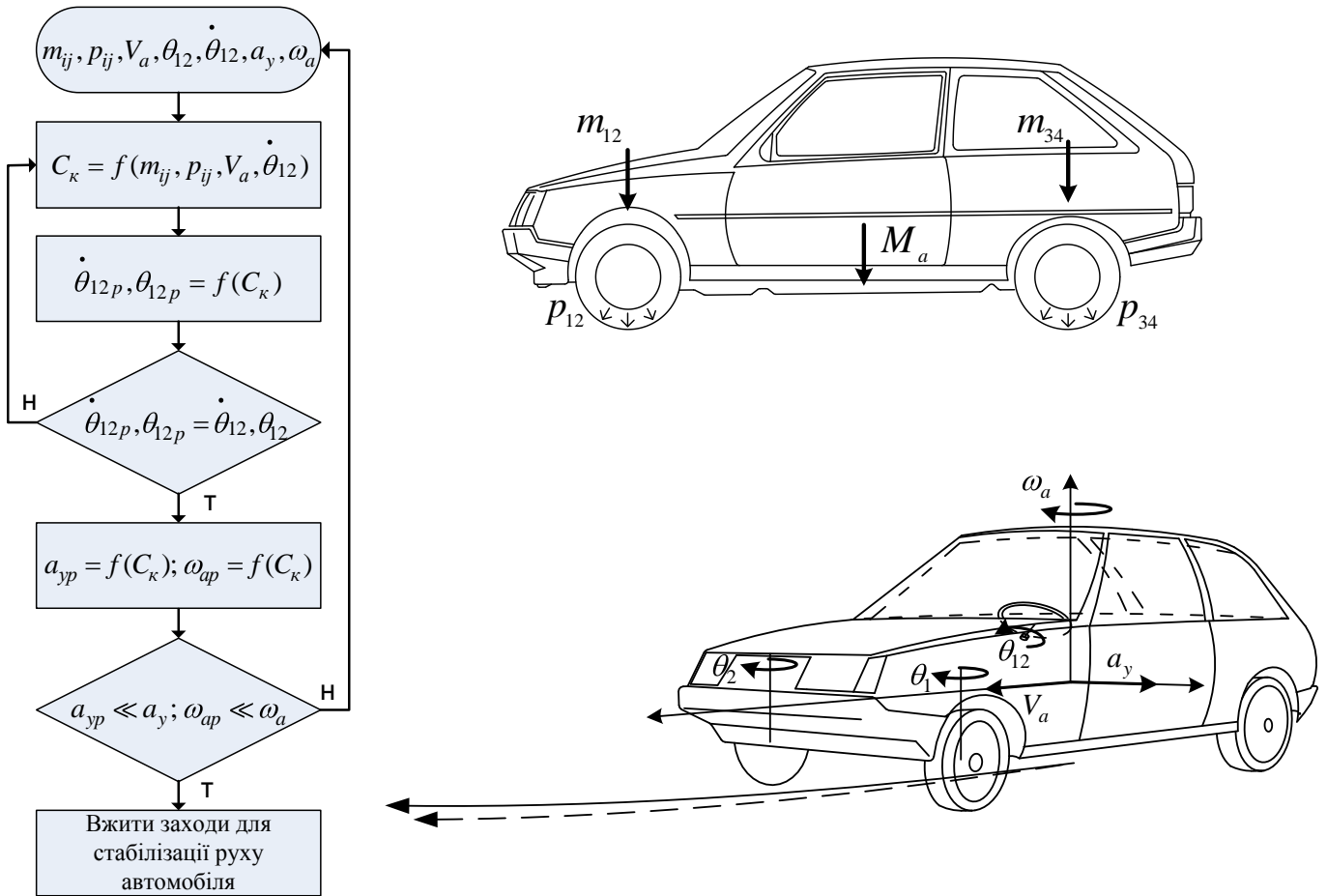


Рисунок 11 – До обґрунтування алгоритму прогнозування поведінки автомобіля за керуючими діями водія

Перед маневром, для умов $\theta_{12} = \dot{\theta}_{12} = a_y = \omega_a = 0$, визначаються вхідні параметри m_{ij}, p_{ij}, V_a (див. алгоритм рис. 11). На початку неусталеного криволінійного руху, під час маневрування, за характером повороту – $\theta_{12}, \dot{\theta}_{12} = f(t)$ для відомих вхідних величин – $m_{ij}, p_{ij}, V_a = S_k / t$ визначається параметр прогнозованої перехідної кривої траєкторії руху – клотоїди, C_k . Для визначеного значення параметра кривої, з використанням математичної моделі неусталеного криволінійного руху,

визначаються розрахункові характеристики – $\dot{\theta}_{12}, \theta_{12} = f(t [C_k, V_a, p_{ij}, m_{ij}])$. Наступним кроком порівнюються розрахункові значення з величинами отриманими з датчиків повороту керованих коліс, чи керма – $\dot{\theta}_{12p}, \theta_{12p} = \dot{\theta}_{12}, \theta_{12}$. За невідповідності цих значень потрібно уточнити значення параметра кривої. При вдалому визначенні перехідної траєкторії руху автомобіля розраховуються кутова швидкість повороту його поздовжньої осі ω_{ap} (швидкість зміни курсового кута) та величина поперечного прискорення a_{yp} з подальшим порівнянням їх з даними датчиків бортових електронних систем.

В адаптивних системах потрібно передбачити коректування вхідних даних в процесі експлуатації автомобіля. Ця вимога є обов'язковою для нормального функціонування систем автомобілів малого класу.

Співвідношення граничних розрахункових значень a_{yp} та ω_{ap} до реальних значень a_y, ω_a визначають чутливість роботи системи і досягаються налаштуваннями відповідних допоміжних електронних систем стабілізації руху активної конструкційної безпеки автомобіля.

Отже, на характер керуючих дій водія впливають як конструкційні і експлуатаційні параметри автомобіля (розподіл навантаження на осі автомобіля та тиск повітря в шинах), так і умови неусталеного криволінійного руху (швидкість руху та параметри перехідної траєкторії). Зміна швидкості чи траєкторії руху автомобіля малого класу у відповідних умовах призводить до потреби в коректуванні швидкості повороту керованих коліс.

Робота водія затрачена на керування транспортним засобом при маневруванні визначиться швидкістю повороту його керованих коліс. У даному випадку показники керованості автомобіля можуть бути кількісно оцінені за величиною кутової швидкості повороту керованих коліс необхідної для забезпечення руху транспортного засобу перехідною кривою. Тобто, чим нижча швидкість повороту керма, необхідна для руху транспортного засобу заданою траєкторією, тим краща керованість автомобіля в цих умовах руху.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. У дисертаційній роботі розв'язана важлива науково-практична задача – покращення керованості ЛАМК в неусталеному криволінійному русі під час маневрування з урахуванням взаємозв'язку керуючих дій водія, завантаження автомобіля, розподілу його по осях та тиску повітря в шинах.

2. Обґрунтовано можливість використання клотоїдних кривих як елементів траєкторій типових видів маневрування. Визначено параметри клотоїди, які для маневрів «поворот 35 м» і «переставка 20 м» склали відповідно 557 та 124. Відхилення координат точок клотоїди від відповідних точок синусоїди чи лемніскати при апроксимації траєкторій маневру «переставка» становить менше 5%.

3. Удосконалена математична модель руху автомобіля перехідною траєкторією, що дає змогу визначати кутову швидкість повороту керованих коліс, бокове прискорення центру мас автомобіля, кутову швидкість повороту його

поздовжньої осі та їх похідні за часом з урахуванням особливостей компоновальної схеми ЛАМК, завантаження транспортного засобу та характеристик шин за боковим відведенням. За потреби можуть бути враховані додатково характеристики підвіски автомобіля.

4. Проведеними лабораторними дослідженнями визначені геометричні та масові параметри автомобіля, характеристики бокового відведення осей, які в подальшому використані як початкові дані для математичного моделювання. Різниця у значеннях розрахованих коефіцієнтів опору відведенню осей коліс автомобіля за зміни їх завантаження в експлуатаційних межах та відхиленні тиску повітря в шинах від нормативного значення за максимального прискорення для передньої осі (K_{Y12}) досягає 26% , для задньої осі (K_{Y34}) – 41%.

5. За результатами моделювання руху автомобіля за розробленою математичною моделлю встановлено, що на характер керуючих дій водія впливають як конструкційні і експлуатаційні параметри автомобіля (розподіл навантаження на осі автомобіля та величина тиску повітря в шинах), так і умови неусталеного криволінійного руху (швидкість руху та параметри перехідної траєкторії). Так, за максимальних швидкостей руху зміна завантаження автомобіля у вказаних межах призводить до зміни швидкості повороту керованих коліс до 10%, а зміна тиску повітря в шинах до 28%. Різниця значень кутової швидкості повороту керованих коліс в заданих 10%-х інтервалах вибору параметра кривої ($C_k=560-620$) та швидкості руху ($V_a=13,0-14,5$ м/с) для варіантів нормативного та пониженого тиску в шинах за різних навантажень на осі досягає 19% та 15% – для наведених варіантів зміни навантаження на осі автомобіля для вказаних значеннях тиску.

6. Встановлено, що критична швидкість ЛАМК за керованістю обмежується умовами зчеплення коліс передньої осі з дорожнім покриттям. Для руху перехідною кривою з параметром $C_k=557$ критична швидкість руху становить 14,7 м/с, для параметру $C_k=124$ критична швидкість руху – 11,6 м/с.

7. Запропоновано методику для визначення параметрів неусталеного криволінійного руху ЛАМК за керуючими діями водія, яка дає змогу за характером повороту керованих коліс прогнозувати перехідну траєкторію руху автомобіля і визначити необхідні параметри його руху цією траєкторією.

8. Експериментальними дослідженнями ЛАМК встановлена адекватність розроблених математичних моделей для визначення показників керованості автомобіля. Так, максимальні відхилення у визначенні курсового кута не перевищували 7%, швидкості повороту керованих коліс при маневруванні – 11% і граничної швидкості руху за керованістю – 9%. Цим підтверджується можливість використання розроблених методик для визначення показників керованості автомобіля при зміні його конструкційних і експлуатаційних параметрів.

9. Результати дослідження керованості ЛАМК в неусталеному криволінійному русі під час маневрування з урахуванням взаємозв'язку керуючих дій водія, завантаження автомобіля, розподілу його по осях та тиску повітря в шинах впроваджені на дочірньому підприємстві «Автоскладальний завод №1» ПАТ «АК Богдан Моторс» та у Спільному польсько-українському товаристві з обмеженою відповідальністю «Алвітранс».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці за темою дисертації

1. Павлюк В.І. Моделювання керуючих дій під час неусталеного криволінійного руху автомобіля / В.І. Павлюк // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №7 [149]. – Луганськ, 2010. – С. 165–168.
2. Павлюк В.І. Керування автомобілем в умовах неусталеного криволінійного руху / В.І. Павлюк // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – № 6 [160]. – Луганськ, 2011. – С. 162–165.
3. Карпенко В.Р. Вплив завантаження легкового автомобіля особливо малого класу на його деякі інерційні характеристики / В.Р. Карпенко, В.І. Павлюк // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів та поїздів: щорічний науково-виробничий журнал. – № 20. – Львів, 2012. С. 133–135.
4. Карпенко В.Р. Траєкторії неусталеного криволінійного руху автомобіля/ В.Р. Карпенко, О.В. Приймак, В.І. Павлюк // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за галузями знань „Машинобудування та металообробка”, „Інженерна механіка”, „Металургія та матеріалознавство”). – Вип. 36. – Луцьк, 2012. – С. 126–130.
5. Кузнєцов Р.М. Відведення осей автомобіля під час криволінійного руху з урахуванням перерозподілу навантаження на колеса / Р.М. Кузнєцов, В.І.Павлюк // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – №9 [180]. Ч.1 – Луганськ, 2012. – С.192–196.
6. Карпенко В.Р. Вплив зміни тиску в шинах і завантаження легкового автомобіля малого класу на його поворотність / В.Р. Карпенко, Р.М. Кузнєцов, В.І. Павлюк, П.П. Костюк // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за галузями знань „Машинобудування та металообробка”, „Інженерна механіка”, „Металургія та матеріалознавство”). – Вип.41. Ч.2 – Луцьк, 2013. – С. 45–48.
7. Сахно В.П. Експериментальне дослідження поворотності легкового автомобіля малого класу / В.П. Сахно, Р.М. Кузнєцов, В.І. Павлюк, П.П. Костюк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 30 (1003). – С. 85–90.
8. Карпенко В.Р. Визначення керуючих дій водія в умовах маневрування легкового автомобіля малого класу / В.Р. Карпенко, Р.М. Кузнєцов, В.І. Павлюк // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів та поїздів: щорічний науково-виробничий журнал. – № 21. – Львів, 2013. – С. 109–114.

Інші видання

9. Приймак О.В. Керування легковим автомобілем з урахуванням його завантаження [Електронний ресурс] / О.В. Приймак, В.Р. Карпенко, В.І. Павлюк // Автомобільна електроніка. Сучасні технології. Харків. – 2012. – 4 с. Режим доступу: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE12_1c/11povviz.pdf.

Публікації апробаційного характеру

10. Карпенко В.Р. Керований неусталений криволінійний рух легкового автомобіля / В.Р. Карпенко, В.І. Павлюк // Тези XXV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу «Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва». – Луцьк: Навчально-науковий відділ ЛНТУ, 2010. – 433 с. – С. 197–198.
11. Карпенко В.Р. Криволінійний рух легкового автомобіля з врахуванням його крену / В.Р. Карпенко, В.І. Павлюк // Тези доповідей LXIV науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2008. – 462 с. – С. 441.
12. Кузнецов Р.М. Керований криволінійний рух автомобіля малого класу / Р.М. Кузнецов, В.І. Павлюк // Тези доповідей LXIX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2013. – 568 с. – С.50.
13. Кузнецов Р.М. Корегування роботи систем активної безпеки автомобілів малих класів / Р.М. Кузнецов, В.І. Павлюк // Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти: Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Донецька академія автомобільного транспорту. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2012. – 272 с. – С. 217–219.
14. Сахно В.П. Прогнозування поведінки легкового автомобіля за керуючими діями водія / В.П. Сахно, Р.М. Кузнецов, В.І. Павлюк // Матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції “Автомобільний транспорт: Проблеми і перспективи” – Севастополь: СевНТУ, 2013. – 96 с. – С. 7–8).

АНОТАЦІЯ

Павлюк В.І. Покращення керованості легкового автомобіля в неусталеному криволінійному русі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Національний університет “Львівська політехніка”. Львів, 2013.

У роботі розв’язується важлива науково-практична задача покращення керованості ЛАМК в неусталеному криволінійному русі під час маневрування з урахуванням взаємозв’язку керуючих дій водія, завантаження автомобіля, розподілу його по осях та тиску повітря в шинах.

Обґрунтовано можливість використання клотоїдних кривих як елементів траєкторій типових видів маневрування. Вдосконалена математична модель руху автомобіля перехідною траєкторією, що дає змогу визначати кутову швидкість повороту керованих коліс, бокове прискорення центру мас автомобіля, кутову швидкість повороту його поздовжньої осі та їх похідні за часом з урахуванням особливостей компоновальної схеми ЛАМК, величини завантаження транспортного

засобу та характеристик шин за боковим відведенням. За потреби додатково можуть бути враховані характеристики підвіски автомобіля.

Експериментальними дослідженнями ЛАМК встановлена адекватність розроблених математичних моделей для визначення показників керованості автомобіля. Так, максимальні відхилення у визначенні курсового кута не перевищували 7%, швидкості повороту керованих коліс при маневруванні – 11% і граничної швидкості руху за керованістю – 9%. Цим підтверджується можливість використання розроблених методик для визначення показників керованості автомобіля при зміні конструкційних і експлуатаційних параметрів.

Ключові слова: легковий автомобіль малого класу, керованість, керуючі дії водія, маневрування, кут відведення колеса, математична модель, завантаження, тиск повітря в шинах.

АННОТАЦІЯ

Павлюк В.И. Улучшение управляемости легкового автомобиля в неустановившемся криволинейном движении. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. – Национальный университет “Львовская политехника”. Львов, 2013.

В диссертационной работе решена важная научно-практическая задача улучшения управляемости легкового автомобиля малого класса (ЛАМК) в неустановившемся криволинейном движении во время маневрирования с учетом взаимосвязи управляющих действий водителя, загрузки автомобиля, распределения ее по осям и давления воздуха в шинах.

Доказана возможность использования клотоидных кривых как элементов траекторий типичных видов маневрирования. Графоаналитически определены параметры клотоид. Усовершенствована математическая модель движения автомобиля переходной траекторией, что позволяет определять угловую скорость поворота управляемых колес, боковое ускорение центра масс автомобиля, угловую скорость поворота его продольной оси и их производные по времени с учетом особенностей компоновочной схемы ЛАМК. При необходимости дополнительно могут быть учтены характеристики подвески автомобиля.

По результатам моделирования движения с использованием разработанной математической модели и определенными исходными данными установлено, что на характер управляющих действий водителя влияют как конструкционные и эксплуатационные параметры автомобиля (распределение нагрузки по осям автомобиля, величина давления воздуха в шинах), так и условия неустановившегося криволинейного движения (скорость движения и параметр переходной траектории). Определена критическая скорость ЛАМК по управляемости. Установлено, что эта скорость ограничивается условиями сцепления передней оси с дорожным покрытием.

Обоснована целесообразность учета влияния параметров криволинейного движения на управление транспортным средством. Выполнено моделирование неустановившегося криволинейного движения ЛАМК клотоидными кривыми. Установлено, что угловая скорость поворота управляемых колес для принятых

вариантов изменения давления воздуха в шинах и нагрузках на оси достигает 15–19%.

Предложена методика (алгоритм) определения параметров неустановившегося криволинейного движения автомобиля по управляющим действиям водителя, которая позволяет по характеру поворота управляемых колес прогнозировать переходную траекторию движения транспортного средства и определить необходимые параметры его движения этой траекторией.

Проведенными экспериментальными исследованиями ЛАМК доказана адекватность разработанных математических моделей для определения показателей управляемости автомобиля. Так, максимальные отклонения в определении курсового угла не превышали 7%, скорости поворота управляемых колес при маневрировании – 11% и предельной скорости движения по управляемости – 9%.

Результаты исследования управляемости ЛАМК внедрены на дочернем предприятии «Автосборочный завод №1» ПАТ «АК Богдан Моторс» и Совместном польско-украинском обществе с ограниченной ответственностью «Алвитранс».

Ключевые слова: легковой автомобиль малого класса, управляемость, управляющие действия водителя, маневрирование, угол увода колеса, математическая модель, нагрузка, давление воздуха в шинах.

ANNOTATION

Pavliuk V.I. Car handling improvement in unsteady curvilinear motion. – Manuscript.

Thesis for the degree of Ph.D., at speciality 05.22.02 – cars and tractors. – National University “Lviv Polytechnic”, Lviv, 2013.

Important scientific and practical problem of improvement the driving of the car small class (CSC) in unsteady curvilinear motion on maneuvering considering the interrelation of driver's actions, loading of the car, its distribution along the axes and air pressure in the tires is solved in the thesis.

The possibility of using of spiral Cornu curves as elements of trajectories of the typical kinds of maneuvering is based.

Mathematical model of the car motion of the changing trajectory is improved. It gives possibility to determine the angular speed of turning of the driving wheels, side acceleration of the car center of weights, angular speed of turning of its longitudinal axis and their derivatives according the time considering the peculiarities of the composite schemes CSC, the weight of the car and characteristics of tires with side rejection. If it is necessary, the characteristics of the car's suspension may additionally be considered.

Due to the experimental studies the adequacy of the developed mathematical models for determining of indicators of vehicle driving. So, maximum deviations in determining the direction angular did not exceed 7%, speed of turning of driving wheels on maneuvering – 11% and limited driving speed – 9%. So, the possibility of using developed methods for determining of motion of the indicators of car driving on changing constructive and maintenance parameters is proved.

Key words: car small class, car handling, driver's actions, maneuvering, slip angle, mathematical model, loading, air pressure in the tires.