

В.П.Сахно, Р.М.Кузнєцов, В.І.Павлюк, П.О.Гуменюк
Національний транспортний університет,
Луцький національний технічний університет
ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ
МАЛОГО КЛАСУ НА БОКОВЕ ВІДВЕДЕННЯ ШИН У НЕУСТАЛЕНОМУ
КРИВОЛІНІЙНОМУ РУСІ

Наведено основні чинники, що визначають величину кутів бокового відведення осей автомобіля у неусталеному криволінійному русі. Проаналізовано вплив інерційних параметрів легкового автомобіля малого класу на характеристики бокового відведення осей коліс під час руху транспортного засобу перехідною криволінійною траєкторією при маневруванні.

Ключові слова: легковий автомобіль малого класу, кут бокового відведення колеса, математична модель руху, маневрування, завантаження.

Рис 1. Табл 1. Форм 4. Літ 10.

В.П.Сахно, Р.М.Кузнєцов, В.И.Павлюк, П.А.Гуменюк
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕГКОВОГО
АВТОМОБИЛЯ МАЛОГО КЛАССА НА БОКОВОЙ УВОД ШИН В
НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

Приведены основные факторы, определяющие величину углов бокового увода осей автомобиля в неустановившемся криволинейном движении. Проанализировано влияние инерционных параметров легкового автомобиля малого класса на характеристики бокового увода осей колес во время движения транспортного средства переходной криволинейной траекторией при маневрировании.

Ключевые слова: легкой автомобиль малого класса, угол бокового увода колеса, математическая модель движения, маневрирование, загрузка.

V.Sahno, R.Kuznietsov, V.Pavliuk, P.Gumeniuk
INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS THE CAR SMALL CLASS
ON THE SLIP OF THE WHEELS IN UNSTEADY CURVILINEAR MOTION

Identified the basic factors that determine the value of slip angles the axis of the vehicle in unsteady curvilinear motion. Analyzed the influence of inertial parameters of car small class on the characteristics of a slip of the wheel axles during vehicle motion transition curve when maneuvering. The of using of spiral Cornu curves as elements of trajectories of the kinds of maneuvering.

Mathematical model of the car motion of the changing trajectory gives possibility to determine angles slip the axis and their derivatives according the time considering the peculiarities of the composite schemes car small class, the weight of the car and characteristics of tires with side rejection.

Keywords: car small class, slip angle of the wheel, the mathematical model of the motion car, maneuvering, loading.

Постановка проблеми. Статистика обсягів продажу нових легкових автомобілів свідчить про те, що автомобілі малого класу, завдяки споживчим властивостям становлять близько 40% ринку країни [1]. Співвідношення спорядженої і повної маси автомобілів такого класу є суттєвим, тому зміна маси транспортного засобу в умовах експлуатації у значній мірі впливає на його експлуатаційні властивості. Зокрема керованість і стійкість автомобіля визначаються як його конструкційним виконанням так і розподілом маси на осі і окремі колеса.

Керованість автомобіля характеризується його властивістю безпечно здійснювати маневри відповідно до впливу водія на кермове колесо. На керованість транспортного засобу впливають його конструкційні особливості: компоновальна схема, кінематика підвіски та жорсткість її пружних елементів, опір шин боковому відведенню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Крім курсової стійкості під час прямолінійного руху автомобіля [2], його керованість оцінюють в усталених і неусталених режимах криволінійного руху [2, 3, 4]. Керованість автомобіля в стаціонарному коловому русі визначається його статичною повороткістю, що характеризується величинами бокового прискорення та кутів бокового відведення осей коліс транспортного засобу [2]. Траєкторією руху в цьому випадку є коло певного радіусу. Неусталений криволінійний рух розглядається під час входу автомобіля в поворот, «переставці» чи маневруванні при об'їзді перешкод. У цьому випадку керованість оцінюється граничними швидкостями виконання маневрів за умови

руху визначеною траєкторією та затратами енергії водія на керування. Траєкторії неусталеного криволінійного руху під час виконання стандартних видів маневрування можуть бути представлені перехідними кривими [5, 6].

Мета дослідження (постановка завдань). Метою дослідження є встановлення впливу масово-інерційних параметрів легкового автомобіля малого класу на величину бокового відведення осей коліс транспортного засобу у криволінійному русі перехідними траєкторіями під час маневрування. Для її досягнення необхідно встановити основні чинники, що визначають величину кутів бокового відведення осей автомобіля, та провести порівняльний аналіз характеристик бокового відведення осей (повороткості) транспортного засобу з різним завантаженням.

Основні результати дослідження. Під час руху траєкторією відповідної кривизни на автомобіль діють відцентрові сили, величина яких залежить від його маси, швидкості руху і радіуса кривизни траєкторії. При цьому прийнято вважати, що відцентрові сили визначають в основному величину бокових реакцій на колесах, а відповідно і кутів бокового відведення коліс його осей, і розподіляються відповідно до розподілу його мас на ці осі. В умовах неусталеного криволінійного руху кутова швидкість повороту автомобіля навколо центральної вертикальної осі є змінною величиною і характеризується кутовим прискоренням. Перерозподіл бокових реакцій на осі транспортного засобу відбувається через момент сил інерції відносно центральної вертикальної осі, зумовлений моментом інерції автомобіля і відповідним кутовим прискоренням. Для легкового автомобіля малого класу зміна його маси та перерозподіл її на осі коліс в процесі завантаження транспортного засобу в умовах експлуатації визначатиме і інерційні параметри автомобіля.

Момент інерції відносно центральної вертикальної осі автомобіля визначається за формулою (1):

$$J_z = \rho_z^2 \times M_a, \quad (1)$$

де J_z – момент інерції автомобіля відносно центральної вертикальної осі, $\text{м}^2 \cdot \text{кг}$;

ρ_z – радіус інерції автомобіля відносно центральної вертикальної осі, м .

Радіус інерції автомобіля відносно вертикальної центральної осі отримано за залежністю (2), запропонованою М.А. Подригало, В.П. Волковим [7]:

$$\rho_z = \sqrt{\frac{1}{2} a \times b + \frac{B^2}{12} \pm \frac{1}{6} a \times b}, \quad (2)$$

де a, b – відстані від центру мас автомобіля відповідно до передньої та задньої осей коліс, м ;

B – значення колії автомобіля, м .

Знак « \pm » у підкореневому виразі вказує на діапазон визначення радіуса інерції автомобіля в межах середньоквадратичного відхилення. Для розрахунку моменту інерції у дослідженні керованості автомобіля прийнято максимальне значення радіуса інерції.

Для теоретичного дослідження у якості вихідних було прийнято параметри легкового автомобіля малого класу ЗАЗ-11022. За умови, що водій, пасажир і вантаж розміщені симетрично відносно поздовжньої осі, масові та геометричні параметри автомобіля визначалися для трьох випадків завантаження: А – водій, чотири пасажирів і вантаж в багажному відсіку (максимально допустиме завантаження); В – водій, три пасажирів без вантажу (проміжне значення величини завантаження); С – водій і пасажир на передньому сидінні без вантажу (мінімальне завантаження відповідно до прийнятого припущення). Нормативами [8] регламентується маса водія, пасажирів та вантажу.

Значення параметрів автомобіля для різних випадків його завантаження наведені у табл. 1

Для визначення кутів відведення осей легкового автомобіля малого класу в неусталеному криволінійному русі під час маневрування проведено моделювання його плоского руху

перехідною кривою з параметрами, що відповідають умовам на проведення випробувань маневру «поворот 35 м». Параметри вибраної клотоїди: $C_{\kappa 35} = L_{\kappa 35} \times R_{\kappa 35} = 557$ – параметр клотоїди (постійна величина кривої); $R_{\kappa 35} = 33,05$ м – радіус кривини у кінці клотоїди, м; $L_{\kappa 35} = 16,85$ м – довжина перехідної кривої, м.

Таблиця 1.

Значення параметрів автомобіля ЗАЗ-11022 для різних випадків його завантаження

Параметр автомобіля	Випадок А	Випадок В	Випадок С
Маса автомобіля M_a , кг	1175	1057	921
Маса автомобіля, що припадає на передню вісь, m_{12} , кг	590	584	560
Маса автомобіля, що припадає на задню вісь, m_{34} , кг	585	473	361
Відстань від передньої осі автомобіля до центру мас, a , м	1,158	1,041	0,911
Відстань від задньої осі автомобіля до центру мас, b , м	1,167	1,284	1,414
Радіус інерції відносно вертикальної центральної осі, ρ_z , м	1,021	1,016	1,000
Момент інерції відносно вертикальної центральної осі, J_z , м ² ·кг	1224	1091	921

В основі розрахункової моделі прийнято систему диференціальних рівнянь для визначення кутів відведення осей автомобіля δ_{12} , δ_{34} , отриману аналогічно до запропонованої А.С.Литвиновим [9], з системи рівнянь плоскопаралельного руху автомобіля для одномасової моделі, з урахуванням особливостей передньоприводної компоновки автомобіля за умови сталої швидкості руху ($V_a = \text{const}$). Також врахована умова 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 – $\dot{R}_\kappa = \dot{R}_a$. З урахуванням даної рівності система для визначення кутів відведення коліс осей автомобіля доповнена додатковим диференціальним рівнянням першого порядку для визначення кутів повороту керованих коліс та швидкості їх зміни θ_{12} , $\dot{\theta}_{12}$, за умови прямування автомобіля заданою перехідною траєкторією.

Математичний апарат моделі враховує компоновку автомобіля, силу тяги на передній осі, розподіл маси транспортного засобу між його осями, нелінійні характеристики шин за боковим відведенням. Систему трьох диференціальних рівнянь розв'язано з використанням методу невизначених коефіцієнтів. Розрахунки виконані для різних випадків завантаження транспортного засобу – А, В, С. При цьому момент інерції відносно центральної вертикальної осі визначається за виразом (2), де $B=1,3$ м – значення колії автомобіля. Теоретичні дослідження проводилися з урахуванням усталеного відведення.

Нелінійні характеристики шин задавалися дискретно на кожному кроці інтегрування, як функції відцентрового прискорення:

$$K_{Yij} = \frac{P_{yij}}{\delta_{ij}} = \frac{a_y \times m_{ij}}{\delta_{ij}} = \frac{V_a^2 \times m_{ij}}{R_\kappa \times \delta_{ij}} = f(a_y), \quad (3)$$

де V_a – швидкість руху автомобіля;

R_κ – миттєвий радіус кривини траєкторії.

Залежності кутів відведення відповідних осей як функції бокового прискорення $\delta_{ij} = f(a_y)$, для визначеного тиску повітря в шинах – $p_{ij}=0,2$ МПа, визначені експериментально [10].

За результатами моделювання визначені кути відведення осей автомобіля, що виникають під час його руху визначеною перехідною кривою ($C_{k35}=557$) з урахуванням відповідних моментів сил інерції відносно центральної вертикальної осі. Для порівняння додатково отримані кути відведення осей автомобіля як характеристики повороткості визначені лише відцентровим прискоренням, що діє на автомобіль під час криволінійного руху:

$$\delta'_{ij} = \frac{P_{yij}}{K_{Yij}} = \frac{a_y \times m_{ij}}{K_{Yij}} = f(a_y). \quad (4)$$

Приклад визначених кутів бокового відведення δ_{12} , δ_{34} з урахуванням та без урахування – δ'_{12} , δ'_{34} відповідних моментів сил інерції, що діють відносно центральної вертикальної осі автомобіля наведено на рис. 1. Прийнятий розрахунковий час становлення перехідних процесів t, c вибраний в інтервалі 30-60% тривалості руху автомобіля перехідною кривою. Швидкість руху визначена граничними умовами зчеплення коліс з дорогою для даних умов маневрування.

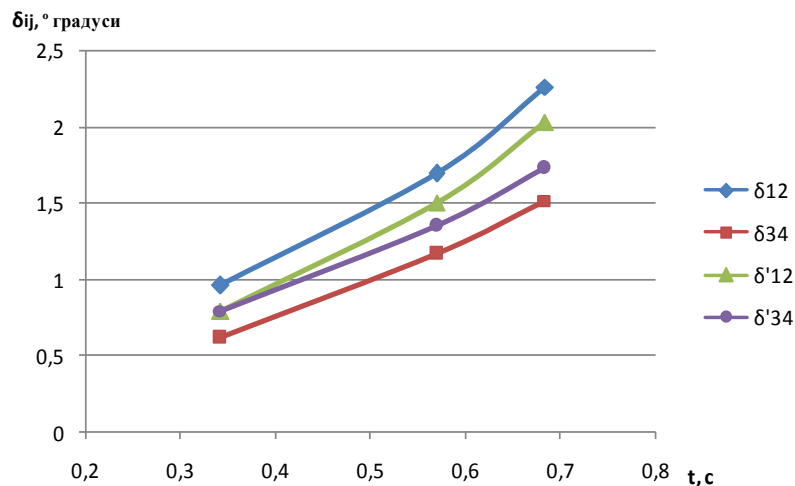


Рис.1. До визначення кутів відведення осей коліс повністю завантаженого автомобіля (випадок А) за умови його руху зі швидкістю $V_a=14,7$ м/с, перехідною кривою ($C_{k35}=557$)

Розрахункові значення величин кутів відведення вказують на те, що за даних визначених умов моделювання процесу входження в поворот, для зазначених випадків завантаження транспортного засобу, врахування згаданих інерційних моментів веде до збільшення кута відведення передньої осі близько 10%, та зменшення кута відведення задньої осі близько 15%. Зміна завантаження легкового автомобіля малого класу, у вказаних межах, призводить до зміни кутів відведення передньої осі до 10%, а задньої близько 20%.

Для безпечного керованого неусталеного криволінійного руху транспортного засобу заданими траєкторіями виникаючі при цьому додаткові кути відведення повинні бути компенсовані водієм відповідним поворотом керма.

Висновок. На основі результатів проведених теоретичних досліджень можна зробити висновок про вагомість впливу інерційних параметрів автомобіля на його керованість в неусталеному криволінійному русі та потребу врахування під час математичного моделювання руху легкових автомобілів малого класу зміни в експлуатаційних умовах їх масових параметрів.

1. Добровольский. В. В минусе // Авторевю. – 2013. – №3. – С. 14-15.
2. Автомобили грузовые, легковые и автобусы. Методы определения и оценки параметров управляемости. Проект отраслевой нормы ОН 025–68 (Первая редакция).
3. ГОСТ Р 52302–2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – Введено 01.01.2006. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 28 с.
4. ISO/TC 22/SC 9 Динамика автомобилей и устойчивость на дороге: [Электронный ресурс] / Каталог стандартов ИСО. URL: http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=46836
5. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я.Х. Закин. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.
6. 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.
7. Подригало М.А., Волков В.П. Определение радиусов инерции автомобиля на стадии его проектирования // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 19–22.
8. TRANS/WP.29/1045. Специальная резолюция № 1. Касающаяся общих определений категорий, масс и размеров транспортных средств (СпР.1). 2005 – 26 с.
9. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
10. Карпенко В.Р. Вплив зміни тиску в шинах і завантаження легкового автомобіля малого класу на його поворотність / В.Р. Карпенко, Р.М. Кузнецов, 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.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2014.