

УДК 629.3.018.7

В. П. САХНО, д-р тех. наук, проф., НТУ, Київ;
Р. М. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, доц., Луцький НТУ;
В. І. ПАВЛЮК, асистент Луцький НТУ;
П. П. КОСТЮК, магістр Луцький НТУ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВОРОТКОСТІ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ МАЛОГО КЛАСУ

Розроблено методику проведення експериментальних досліджень статичної повороткості. Підбрано комплекс вимірювальної апаратури. Створена дорожня лабораторія. Наведено висновки і рекомендації щодо подальших досліджень.

Ключові слова: повороткість, характеристики шин, методика, обладнання, експеримент.

Вступ. Дослідження стійкості і керованості автомобіля, як і повороткості, неможливе без врахування явища відведення пневматичних шин. Властивості повороткості визначаються жорсткісними характеристиками шин за боковим відведенням осей автомобіля. В свою чергу на характеристики автомобільних шин впливають багато чинників. За умови технічної справності шин найбільш вагомими з них: особливості конструктивного виконання, тиск повітря в шинах, величина нормального навантаження на колеса, режим кочення коліс автомобіля.

Шини зі сталевим поясом корду мають хороші характеристики опору відведенню. Тиск в шинах одночасно з перерозподілом навантаження між колесами однієї осі суттєво впливає на характеристики її відведення.

Аналіз основних результатів досліджень і літератури. Незважаючи на існуючі математичні моделі кочення пневматичної шини, основними методами визначення жорсткісних характеристик шин є експериментальні дослідження. Повороткість автомобіля визначається різницею кутів відведення $\Delta\delta$ передньої δ_{12} та задньої δ_{34} осей автомобіля. Статична повороткість характеризується здатністю чинити опір відведенню осей автомобіля під час усталеного криволінійного руху. Характеристики, що визначають властивість повороткості транспортного засобу, виражаються функціями відцентрового прискорення: $\delta_{12} = f(a_y)$, $\delta_{34} = f(a_y)$, $\Delta\delta = f(a_y)$ [1,2].

Використовують різні методики визначення характеристик статичної повороткості автомобіля. В роботі [2] наводиться перелік основних видів випробувань та особливості визначення характеристик повороткості в усталених умовах криволінійного руху: випробування при постійному радіусі траєкторії, при постійній швидкості руху та при постійному куті повороту керованих коліс. У нормативному документі [1] наведена методика визначення даних характеристик способом, в основі якого є умова сталості кута повороту керованих коліс при русі автомобіля коловими траєкторіями з різними швидкостями. Також вказані рекомендації щодо вибору необхідного обладнання для проведення експерименту.

Для дослідження керованості криволінійного руху автомобіля [3] необхідно, на основі існуючих, розробити методику визначення характеристик повороткості за відведенням $\delta_{12}, \delta_{34} = f(a_y)$ та підібрати необхідну вимірювально-реєструючу апаратуру.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою роботи є розробка методики експериментального визначення характеристик осей за відведенням $\delta_{12}, \delta_{34} = f(a_y)$ та

комплексу вимірювально-реєструючої апаратури, необхідної для проведення експериментальних досліджень.

Матеріали досліджень. На основі аналізу існуючих методів визначення характеристик керованості і повороткості в умовах усталеного криволінійного руху розроблено методу, що дозволяє визначати поворотність транспортного засобу через характеристики, виражені функціями відцентрового прискорення. При цьому незалежними факторами в експерименті є швидкість автомобіля V_a , радіус колової траєкторії руху його центра мас R_a , маса автомобіля M_a та розподіл її на передню m_{12} та задню m_{34} осі: $\delta_{12} = f(m_{12}, V_a, R_a)$, $\delta_{34} = f(m_{34}, V_a, R_a)$, $\Delta\delta = f(a_y) = f(M_a, V_a, R_a)$. З урахуванням наведених факторів сформульовані основні положення методики проведення дослідження.

1. Дорожні дослідження проводяться відповідно загальним умовам на проведення випробувань [1, 4, 5]. Агрегати і елементи ходової частини автомобіля перед проведенням досліджень прогриваються пробігом не менше 15 км зі швидкістю $0,75V_{amax}$.

2. Розмічається за допомогою конусів коло необхідного радіуса R (рис.1) з можливістю руху центра мас автомобіля коловою траєкторією радіуса $R_a=20\text{м}$ (рис. 2) з урахуванням безпечного інтервалу. Радіус кола вибирається за рекомендаціями [1] і його значення на порядок перевищує базу автомобіля, тому в роботі прийнято $R_a=OD$.



Рисунок 1 – Рух автомобіля колом заданого радіусу

3. Перед проведенням експериментів водій здійснює декілька заїздів мірною ділянкою, щоб звикнути до маршруту. Оператор налаштовує вимірювально-реєструючу апаратуру.

4. Водій намагається вести автомобіль заданою коловою траєкторією, якомога ближче до фішок розмітки, підтримуючи сталу швидкість руху. Швидкість руху контролюється за спідометром, в привод якого вмонтовано пристрій для збільшення показів спідометра в 3 рази.

5. Оператор слідкує за процесом запису параметрів на моніторі ЕОМ, а також здійснює керування роботою відео камери.

6. Кількість дослідів для визначення характеристик кутів відведення осей, відцентрового прискорення та вибір факторів визначаються плануванням експерименту. Згідно планування експерименту автомобіль з певним завантаженням та заданим тиском повітря в шинах рухається коловою траєкторією визначеного радіуса з встановленою постійною швидкістю руху. В процесі кожного заїзду ведеться відеозйомка дорожнього полотна.

7. Заїзди, в яких отримані результати надто відрізняються від очікуваних, а також в яких зафіксовано відхилення від траєкторії руху чи занесення осей автомобіля, вибраковуюються. При цьому фіксується швидкість виникнення заносу і уточнюється радіус за осцилограмою запису курсового кута для визначення граничного прискорення, за якого відбувається занесення;

8. Безпосередньо за напрямком смуг на кадрі визначається вектор швидкості руху середини осі. Цей спосіб визначення відображає суть визначення поняття кута відведення точки автомобіля в місці закріплення камери. За необхідності збільшення чіткості відеозапису на дорожнє покриття наноситься розбризкуванням вапняний розчин.

Значення радіусу колової траєкторії, що описує центр мас автомобіля, уточнюється за осцилограмою запису курсового кута.

9. За визначеним кутом відведення задньої осі $\delta_{34}=\delta_K$ та уточненим радіусом кривизни траєкторії аналітично визначається кут відведення передньої осі автомобіля δ_{12} .

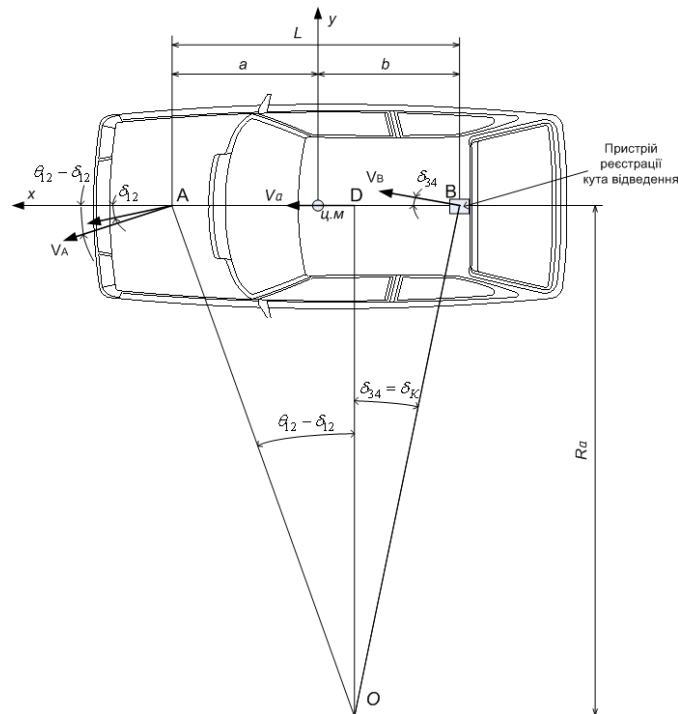


Рисунок 2 – Схема до визначення кутів відведення осей автомобіля

Для визначення кута відведення передньої осі, рис.2, необхідно знати значення кута повороту керованих коліс автомобіля θ_{12} . Кут повороту керованих коліс θ_{12} визначається як середнє значення кутів повороту окремих коліс передньої осі θ_1, θ_2 отриманих експериментально за допомогою потенціометричних датчиків.

$$\delta_{12} = \theta_{12} - \arctan\left(\frac{AD}{OD}\right) = \theta_{12} - \arctan\left(\frac{AD}{R_a}\right) = \theta_{12} - \arctan\left(\frac{L}{R_a} - \tan \delta_{34}\right), \text{ рад} \quad (1)$$

де

$$AD = L - OD \times \tan \delta_{34} = L - R_a \times \tan \delta_{34}, \text{ м} \quad (2)$$

L – база автомобіля, м.

Відцентрове прискорення руху автомобіля

$$a_y = \frac{V_a^2}{R_a}, \text{ м/с}^2 \quad (3)$$

Для експериментального визначення характеристик повороткості необхідно розробити комплекс вимірювального обладнання і апаратури для дорожньої лабораторії, що монтуватиметься на легковому автомобілі малого класу, фіксуватиме необхідні параметри та забезпечуватиме необхідну точність вимірювання [4, 5].

Визначення кутів відведення задньої осі здійснюється шляхом відео зйомки дорожнього полотна в місці горизонтальної проекції на дорогу середини задньої осі автомобіля. Щоб уникнути похибки під час розрахунків при графічному визначенні кута відведення задньої осі через кут відведення точки автомобіля в місці закріплення камери, запропоновано закріпити камеру на днищі кузова в районі середини задньої осі (рис. 3). Для відео зйомки дорожнього полотна використовується вебкамера Logitech Webcam C100, та програмне забезпечення для відеозапису.



Рисунок 3 – Розміщення відеокамери на автомобілі та фрагмент запису кута відведення осі автомобіля

Для фіксації кутів повороту керованих коліс використовуються кільцеві потенціометри (рис. 4). Для кута повороту керованого колеса даного автомобіля необхідний діапазон вимірювання $\pm 36^\circ$ похибка забезпечена потенціометром $\pm 0,3^\circ$ ($0,0052 \text{ рад}$). Електричне увімкнення датчиків здійснене за мостовою схемою.

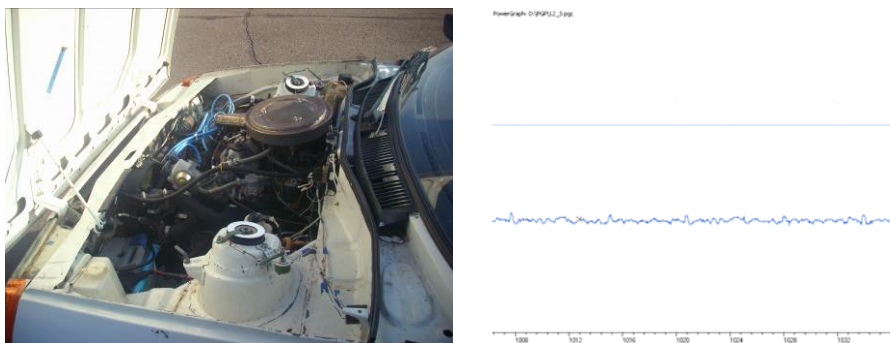


Рисунок 4 – Розміщення на автомобілі датчиків повороту керованих коліс та зразок осцилограми кута повороту керованих коліс

Розвиток схемотехніки і супутникової навігації дає можливість використовувати сучасне компактне обладнання і датчики з можливістю комплексної фіксації параметрів руху, що забезпечують необхідну точність вимірювання. Проте обмеження у використанні таких датчиків, пристроїв чи відповідних комплексів зумовлене поки що високою вартістю обладнання. Для даного дослідження при визначенні кутів курсу

використовувався гіроагрегат автопілота авіаційної техніки – гіронапівкомпас ГПК-52 (рис.5.). Прилад забезпечує необхідний діапазон та похибку вимірювання. Для курсового кута діапазон вимірювання більше 360° похибка $\pm 0,3^{\circ}$ [1]. Датчиком курсового кута є кільцевий потенціометр гіронапівкомпаса.



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

Результати досліджень. Крім розподілу маси автомобіля додатково факторами в експерименті можуть бути прийняті інші експлуатаційні чи конструктивні параметри автомобіля. Таким чином, можливо здійснювати дослідження впливу окремих факторів на характеристики повороткості. Врахування факторів та їх кількості відображається в плануванні експерименту.

Вибране обладнання сформовано в комплекс вимірювально-реєструючої апаратури і встановлено на автомобілі малого класу ЗАЗ-11022 (рис. 3,4,6).

Камера закріплюється на кузові транспортного засобу (кронштейн кріплення паливного баку) над задньою віссю автомобіля (рис. 3) і вмикається оператором дистанційно. Фрагмент відеозапису для визначення кута відведення задньої осі наведено на рисунку 3.

Корпус датчика закріплений на кузові автомобіля в місці кріплення верхньої опори передньої амортизаційної стійки (рис. 4) Шток амортизаційної стійки паралелограмним важільним механізмом з'єднаний з рухомих контактом резистора.

Таке розміщення дозволяє зменшити вплив кінематики елементів підвіски на значення вимірюваного параметра, що особливо проявляється під час крену автомобіля. Також пружний елемент підвіски гасить частину коливань, що передаються на датчик від колеса під час руху автомобіля. Необхідною умовою монтажу 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 (рис. 4).

Прилад ГПК-52 розміщений на автомобілі максимально наближено до центру його маси. Агрегат ГПК-52 змонтовано на основі рамної конструкції. Конструкція стійок і кронштейнів рами основи передбачає зміну положення агрегату відносно кузова дослідного автомобіля, що дає можливість налаштування обладнання на транспортному засобі (рис 6).

Електричний сигнал з датчиків надходять в зовнішній модуль – аналогово-цифровий перетворювач Е14-140, а після перетворення реєструються на ЕОМ за допомогою праграмного забезпечення PowerGraf. Програмне забезпечення дозволяє проводити математичну обробку каналів запису. Так, за сигналами окремих датчиків повороту керованих коліс отримується сигнал, що відображає середнє значення кута повороту керованих коліс.

Приклад запису осцилограми вимірювання кута повороту керованих коліс під час кругового руху з закріпленим рульовим колесом наведено на рис. 4, а осцилограми кута повороту центральної поздовжньої осі автомобіля (курсого кута) наведено на рис. 5.

Керування сигналами датчиків здійснюється оператором з пульта керування.



Рисунок 6 – Розміщення обладнання на автомобілі

Живлення двигунів гіроагрегату здійснюється від трифазного перетворювача ПТ-125Ц. Комплекс апаратури живиться струмом від блоку акумуляторних батарей, бортової мережі автомобіля, та перетворювача напруги 12-220В – IPS-1000С (600Вт).

Висновки. Запропонована методика дозволяє досліджувати вплив окремих конструктивних та експлуатаційних параметрів на поворотність легкового автомобіля. Розроблений комплекс апаратури забезпечує вимірювання та запис параметрів з необхідною точністю і може доукомплектуватися додатковим обладнанням визначеним відповідною метою експериментальних досліджень.

Список літератури: 1. Автомобили грузовые, легковые и автобусы. Методы определения и оценки параметров управляемости. Проект отраслевой нормы ОН 025–68 (Первая редакция). 2. *Вонг Дж.* Теория наземных транспортных средств / *Д. Вонг.* – М.: Машиностроение, 1982. – 189 с. 3. *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. 4. ДСТУ 3310-96. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуваннями. – Введено вперше. 01.01.1997. – К.: Держстандарт України, 1996. – 11 с. 5. ГОСТ Р 52302–2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – Введено 01.01.2006. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 28 с.

Надійшла до редколегії 12.05.2013

УДК 629.3.018.7

Експериментальне дослідження поворотності легкового автомобіля малого класу / В. П. Сахно, Р. М. Кузнецов, В. І. Павлюк, П. П. Костюк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 85–90. – Бібліогр.: 5 назв.

Вибрана методика експериментальних досліджень статической поворачиваемости. Подбран комплекс измерительной аппаратуры. Сосдана дорожная лаборатория. Приведены выводы и рекомендации по поводу дальнейших исследований.

Ключевые слова: поворачиваемость, характеристики шин, методы, аппаратура, эксперимент.

The method chosen experimental studies of static understeer. Picked a set of equipment. Was created Road Laboratory. The conclusions and recommendations for further research.

Keywords: understeer, tire characteristics, methods, equipment, experiment.