



УДК 629.113

• © Д.М. Яшенко, канд. техн. наук, асистент (НТУ)

## ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ КЕРУЮЧОГО КОЛІСНОГО МОДУЛЯ

**Анотація.** Експериментально визначені пружні характеристики приводу системи рульового керування та залежність кута повороту керованих коліс автомобіля від прикладеного до них поворотного моменту. Одержані параметри жорсткості приводу рульового керування можуть бути використані при дослідженні стійкості та керованості колісних транспортних засобів.

**Ключові слова:** рульове керування, жорсткість, кероване колесо, кут повороту, стійкість, керованість, колісний модуль.

**Аннотация.** Экспериментально определены упругие характеристики привода системы рулевого управления и зависимость угла поворота управляемых колес автомобиля от приложенного к ним поворотного момента. Полученные параметры жесткости привода рулевого управления могут быть использованы при исследовании стойкости и управляемости колесных транспортных средств.

**Ключевые слова:** рулевое управление, жесткость, управляемое колесо, угол поворота, стойкость, управляемость, колесный модуль.

**Annotation.** By means of the spent experiment there were certain elastic characteristics of a drive of system of a steering and dependence of a corner of turn of operated wheels of the car on the turning point enclosed to them. The received parameters of rigidity of a drive of a steering can, and should, to be used at question examining about rather researches of firmness and controllability of wheel vehicles.

**Keywords:** steering management, inflexibility, guided wheel, corner of turn, firmness, dirigibility, wheeled module.

### Вступ

Під час криволінійного руху автомобіля водій прикладає необхідні зусилля до рульового колеса і навіть при прямолінійному русі він утримує його в нерухомому стані. У будь-якому разі в рульовому приводі автомобіля виникають зусилля, що викликають скручування деталей приводу. Деталі рульового приводу автомобіля своєю чергою реагують розтягуваннями, стисненнями та скручуваннями. Загалом ці процеси можуть характеризуватись таким поняттям як пружність (або жорсткість) приводу рульового керування.

### Основна частина

У приводі рульового керування виникає закручування керованого колеса відносно керма, викликаючи пружний момент в елементах приводу:

$$M_{np} = C_{np} \cdot \Theta \quad (1)$$

де  $C_{np}$  – приведена жорсткість приводу рульового керування,  $Нм/град$ ;

$\Theta$  – кут повороту керованого колеса під дією моменту  $M_{np}$ ,  $град$ .

Приведену жорсткість приводу рульового керування при повороті керованого колеса можна визначити за такою формулою:

$$C_{np} = C_p + C_u + \Delta C \quad (2)$$

де  $C_p$  – жорсткість приводу рульового керування в  $Нм/град$ , визначили експериментально;

$C_u$  – коефіцієнт стабілізуючого моменту шини, визначили аналітично;

$\Delta C$  – додаткова жорсткість керованого колеса, визначили аналітично.

Перша складова рівняння (2) – жорсткість приводу рульового керування  $C_p$  – визначалася нами експериментально на спеціально виконаному стенді за допомогою індикатору годинникового типу. При цьому вимірювали деформацію кожного елемента кінематичного ланцюга рульового приводу.

Виміри проводили при блокованих послідовно одному та другому керованих колесах. Показання



індикаторів фіксували при різних зусиллях на рульовому колесі до максимального їх значення, необхідних для повороту керованих коліс при нерухомому автомобілі.

Зусилля на кермі задавали за допомогою спеціального динамометричного колеса (рис. 1) [1]. Це колесо встановлювали на кермі експериментального автомобіля. Воно складається з підставки 1, пружин 2, які в розтягнутому стані з'єднують підставку з колесом і фіксують його в нульовому положенні.

При проведенні експериментальних досліджень з визначення жорсткості приводу рульового керування до рульового колеса прикладали зусилля і воно поверталось разом зі шкалою відносно нерухомо закріпленої на підставі 1 стрілки 4, що пересувалася розташовані в прорізі шкали повзуни 3. По їхньому переміщенню робили висновки про зусилля, прикладене до керма.

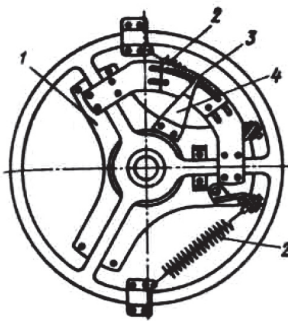


Рис. 1. Динамометричне колесо

У процесі експерименту фіксувалось також кутове відхилення керма, обумовлене деформацією елементів рульового приводу та наявністю зазорів у його з'єднаннях, які визначали за допомогою спеціального приладу для визначення вільного ходу керма (рис. 2) [1].

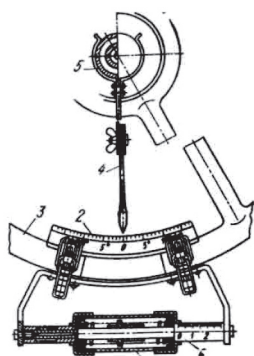


Рис. 2. Прилад для визначення вільного ходу керма

Динамометрична ручка приладу разом зі шкалою 2 (у градусах) за допомогою хомутів прикріплена до обода керма 3. Зусилля, прикладене до керма, відлічували за шкалою 6, а кут його повороту – за показниками стрілки 4, закріпленої на валу керма 5.

Для визначення жорсткості приводу рульового керування  $C_p$  в  $Нм/град$  виконали експеримент, суть якого полягала у тому, що оскільки жорсткість приводу рульового керування є величиною зворотно пропорційною до моменту, прикладеного до керованого колеса, то можна записати:

$$C_p = M_p / \Theta \quad (3)$$

Реалізація моменту  $M_p$  в експерименті проходила у вигляді прикладення до керованого колеса через важіль з плечем  $l$  зусилля  $P$ , тобто:

$$M_p = P \cdot l \quad (4)$$

При цьому одночасно фіксували кут повороту керованого колеса  $Q$  в градусах. Експериментальні дослідження проводилися відповідно до схеми, яка наведена на рис. 3.

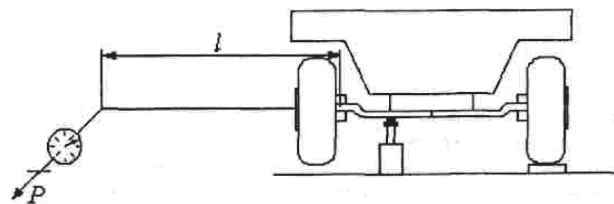


Рис. 3. Схема визначення жорсткості приводу рульового керування

При піднятих за допомогою крану керованих колесах (рис. 4, 5, 6) та зафіксованому в нерухомому стані кермі до правого керованого колеса прикладали за допомогою важеля з плечем  $l$  зусилля  $P$  і одночасно фіксували кут повороту правого керованого колеса  $\Theta$ .

При проведенні цього експерименту практично були використані такі прилади, як балка довжиною  $l = 1$  м, яка була закріплена на диску правого керованого колеса, динамометр годинникового типу та лебідка, що була закріплена на нерухокій опорі та давала змогу прикладати до керованого колеса зусилля  $P$  (рис. 4, 5, 6).

Під правим керованим колесом було встановлено спеціальний поворотний диск з градуванням, який давав можливість вимірювати кут повороту колеса  $\Theta$  при прикладенні відповідного моменту до нього (рис. 6). При цьому кермо було заблоковане.

За допомогою такого експерименту були визначені залежності кута повороту керованих коліс від прикладеного до них моменту та, в кінці кінців, пружні характеристики приводу рульового керування автомобілів ВА3-2121 і ВА3-2109 з новим та зношеним керованим колісним модулем (далі – ККМ).

При різкому скиданні зусилля за допомогою лебідки були також визначені параметри



Рис. 4. Визначення жорсткості приводу рульового керування



Рис. 5. Визначення жорсткості приводу рульового керування (фронтальний вигляд)

коливального процесу керування коліс автомобіля і визначена залежність кута повороту керуваного колісного модуля у часі перехідного процесу.

При визначеному зусиллі  $P$ , прикладеному на плечі  $l$ , побудували графіки залежності кута повороту керуваного колеса  $\Theta$  від прикладеного до нього крутного моменту  $M_p$  для автомобілів ВАЗ-2121 та ВАЗ-2109 з новим та зношеним ККМ (рис. 7, 8).

Аналіз наведених на рис. 7 та рис. 8 графіків показав, що відповідні залежності можна апроксимувати лінійною залежністю з відповідними коефіцієнтами:

- для автомобіля ВАЗ-2121 з новим ККМ:

$$\Theta_{2121n} = 0,0025 \times M_p, \text{ град} \quad (5)$$

- для автомобіля ВАЗ-2121 зі зношеним ККМ:

$$\Theta_{2121s} = 0,0061 \times M_p, \text{ град} \quad (6)$$

- для автомобіля ВАЗ-2109 з новим ККМ:

$$\Theta_{2109n} = 0,0024 \times M_p, \text{ град} \quad (7)$$

- для автомобіля ВАЗ-2109 зі зношеним ККМ:

$$\Theta_{2109s} = 0,0057 \times M_p, \text{ град} \quad (8)$$

За допомогою отриманих залежностей (5), (6), (7) та (8) була визначена жорсткість приводу рульового керування, яка склала:

- для автомобіля ВАЗ-2121 з новим ККМ –  $C_{p2121n} = 407 \text{ Нм/град}$ ;

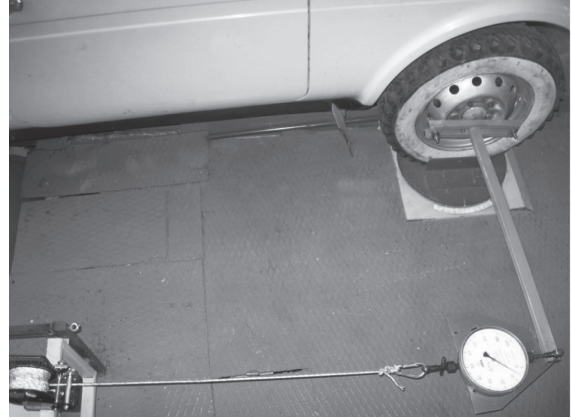


Рис. 6. Визначення жорсткості приводу рульового керування (вигляд зверху)

- для автомобіля ВАЗ-2121 зі зношеним ККМ –  $C_{p2121s} = 165 \text{ Нм/град}$ ;

- для автомобіля ВАЗ-2109 з новим ККМ –  $C_{p2109n} = 416 \text{ Нм/град}$ ;

- для автомобіля ВАЗ-2109 зі зношеним ККМ –  $C_{p2109s} = 175 \text{ Нм/град}$ .

Після експериментального визначення жорсткості приводу рульового керування  $C_p$ , як однієї зі складових виразу (2), наступним кроком визначили коефіцієнт стабілізуючого моменту шини  $C_{ш}$  та додаткову жорсткість керуваного колеса  $\Delta C$ .

Коефіцієнт стабілізуючого моменту шини  $C_{ш}$  визначали аналітично, за емпіричною залежністю [2]:

$$C_{ш} = \frac{2 \cdot k_{ш} \cdot c_{\omega}}{3} \cdot \left(1 - \frac{\Theta}{\Theta_{\max}}\right) \quad (9)$$

Для розрахунків за формулою (9) приймали:

$k_{ш}$  – коефіцієнт пропорційності стабілізуючого моменту, який враховує вплив поздовжніх сил на величину стабілізуючого моменту шини,  $k_{ш} = 1,1$ ;

$\Theta$  – кут повороту керуваного колеса відносно осі шворня,  $\Theta = 4 \text{ град}$ ;

$\Theta_{\max}$  – максимальний кут повороту колеса на місці,  $\Theta_{\max} = 27 \text{ град}$ ;

$c_{\omega}$  – кутова жорсткість шини відносно вертикальної осі,  $\text{Нм/град}$ . Цю величину визначали за емпіричною формулою [2]:

$$C_{\omega} = (9 \dots 11) G_k \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{град}}, \quad (10)$$

де  $G_k$  – навантаження на керуване колесо,  $\text{Н}$ .

Відомо, що для автомобіля ВАЗ-2121  $G_k = 4000 \text{ Н}$ , а для автомобіля ВАЗ-2109  $G_k = 3500 \text{ Н}$ , а тоді  $C_{\omega} = 40$  та  $35 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{град}}$  відповідно. В результаті розрахунків отримуємо значення коефіцієнта стабілізуючого моменту шини  $C_{ш}$  для автомобілів ВАЗ-2121 та ВАЗ-2109:

- для автомобіля ВАЗ-2121 –  $C_{ш2121} = 24,99 \text{ Нм/град}$ ,

- для автомобіля ВАЗ-2109 –  $C_{ш2109} = 21,86 \text{ Нм/град}$ .

Останню складову виразу (2) – додаткову жорсткість керуваного колеса  $\Delta C$  визначали користуючись результатами досліджень [3], де наведене рівняння:

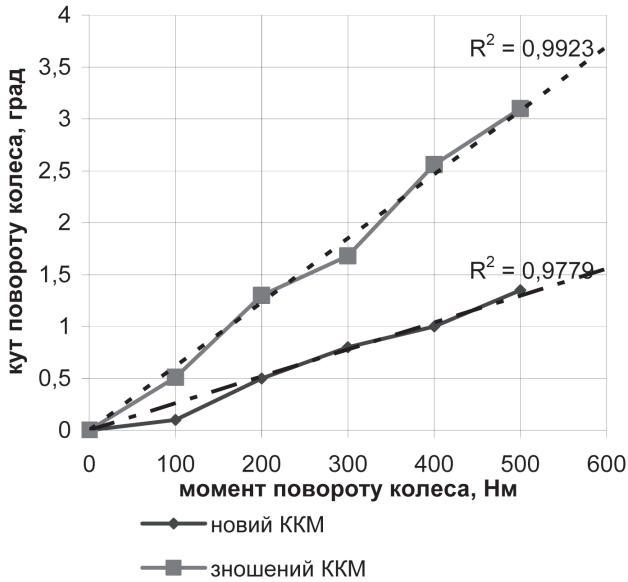


Рис. 7. Залежність кута повороту керованого колеса  $\Theta$  від прикладеного до нього крутного моменту  $M_p$  автомобіля ВАЗ-2121

$$C_{ш} + C_p + \Delta C = (C_{ш} + C_p)(1 + 0,031\beta_{ш}) \quad (11)$$

У результаті перетворень рівняння (11) одержимо формулу для розрахунку додаткової жорсткості керованого колеса  $\Delta C$ :

$$\begin{aligned} \Delta C &= (C_{ш} + C_p)(1 + 0,031\beta_{ш}) - C_{ш} - C_p = \\ &= 0,031\beta_{ш}C_{ш} + 0,031\beta_{ш}C_p + C_{ш} + C_p - C_{ш} - C_p = \\ &= 0,031\beta_{ш}C_{ш} + 0,031\beta_{ш}C_p = 0,031\beta_{ш}(C_{ш} + C_p), \end{aligned} \quad (12)$$

де  $\beta_{ш}$  – кут позадвжнього нахилу шворня, град,  $\beta_{ш} = 0,9$ .

Залежність пружного моменту у приводі рульового керування від кута повороту ККМ для автомобілів ВАЗ-2121 та ВАЗ-2109 з новим та зношеним ККМ наведена на рис. 9.

Були проведені дорожні випробування автомобілів, які показали, що за приведеної жорсткості 195 Нм/град (зношений ККМ) рух автомобіля за швидкості 25 м/с (90 км/год) є нестійким. Збільшення приведеної жорсткості до 444 Нм/град (новий ККМ) забезпечує високу стійкість руху автомобіля ВАЗ-2121, в той час як збільшення жорсткості рульового приводу понад 500 Нм/град не призводить до відчутного збільшення критичної швидкості руху.

Також було визначено, що на стійкість руху автомобілів значно впливає технічний стан ККМ. Так автомобіль ВАЗ-2121 зі зношеним ККМ при виконанні маневру “ривок руля” має на 6%...11% гірші показники курсової стійкості, ніж з новим ККМ, а автомобіль ВАЗ-2109 – на 13%. Автомобілі зі зношеним ККМ реагують на маневр із запізненням у 0,4...1,3 с і така повільна реакція може негативно позначитись на безпеці дорожнього руху.

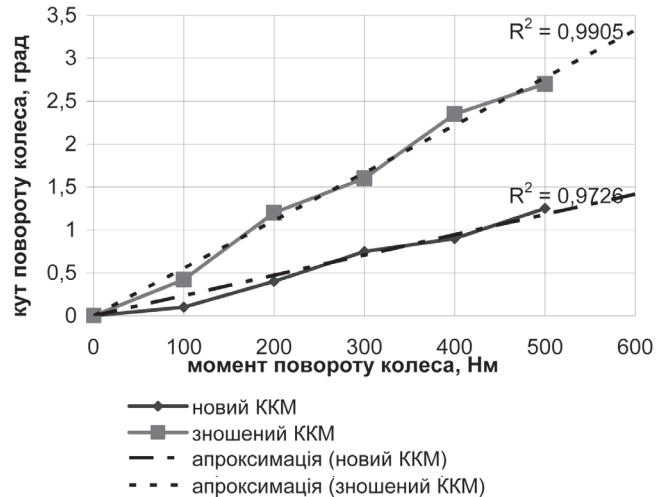


Рис. 8. Залежність кута повороту керованого колеса  $\Theta$  від прикладеного до нього крутного моменту  $M_p$  автомобіля ВАЗ-2109

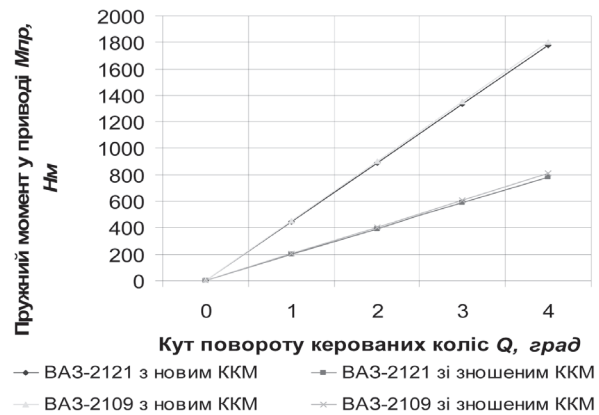


Рис. 9. Залежність пружного моменту у приводі рульового керування від кута повороту керуючого колісного модуля

### Висновки

Одержані параметри жорсткості приводу рульового керування можуть і повинні використовуватись при розгляді питання дослідження стійкості та керованості колісних транспортних засобів категорії М1. Аналітичним і експериментальним шляхом показано, що до характерних параметрів, які впливають на умови безпечної втрати стійкості автомобіля з жорстким рульовим керуванням, додається параметр жорсткості приводу керування. Варіація цього параметра може істотно впливати на характер динамічної поведінки автомобіля при досягненні ним закритичної швидкості руху.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Балабин И.В., Куров Б.А., Лаптев С.А. Испытания автомобилей.- М.: Машиностроение, 1988.-192 с.
2. Солтус А.П., Барун В.Н., Азаматов Р.А. Влияние характеристик элементов рулевого управления на «шимми» управляемых колес автомобиля. // Автомобильная промышленность. – М.,1985. – №2.
3. Солтус А.П. Теория эксплуатационных vlastивостей автомобиля: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006 – 176 с.