

УДК 629.3.027.2

*Агарков Іван Валентинович
(аспірант кафедри Електричного транспорту Харківського національного
університету міського господарства імені О.М. Бекетова)*

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПІДСИЛЮВАЧА КЕРМА У СИСТЕМІ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСА

Проведено аналіз методів розрахунку систем рульового керування транспортних засобів. Отримано залежність моменту опору повороту шини на місці від кута повороту керованого колеса тролейбуса при максимально-допустимому навантаженні на вісь. Визначені механічні параметри електричного підсилювача рульового керування тролейбуса.

Ключові слова: рульове керування, електропідсилювач, момент опору, кутова швидкість, крутний момент.

Вступ. Міський електричний транспорт відіграє важливу роль у житті будь-якого міста. Це, насамперед, пов'язано з необхідністю забезпечення населення мобільністю в рамках швидкого розширення території міст та приміських зон.

З розвитком інфраструктури та економічним ростом міста збільшується й необхідність обсягів перевезень, що впливає на ефективність роботи транспортних засобів та підприємств. Наприклад, зростання автомобілізації суспільства призводить до серйозних соціально-економічних проблем, а саме: викидів парникових газів, негативного впливу транспорту на стан здоров'я населення і навколишнього середовища; підвищення аварійних ситуацій; збільшення витрат, пов'язаних із транспортними заторами, тощо.

Для зменшення показаних проблем в інфраструктурі міста ефективним є використання екологічного міського електротранспорту. Одним з найпоширеніших видів такого транспорту в Україні є тролейбус.

Сучасний низькопідлоговий тролейбус відповідає багатьом вимогам щодо безпеки, комфортабельності та економічності. Однак даний вид транспорту все ще потребує впровадження сучасних науково-технічних рішень в конструкцію окремих вузлів та агрегатів. Особлива увага в конструкціях тролейбусів приділяється тим елементам (наприклад, рульового керування, електрообладнання тощо), що пов'язані з безпекою пасажирів та комфортності перевезень.

Аналіз систем рульового керування тролейбусів [1] виявив основні недоліки конструкції підсилювачів рульового керування гідравлічного типу:

неможливість тримати рульове колесо в крайньому положенні більше п'яти секунд, інакше відбудеться перегрів масла в системі, що призводить до її поломки;

необхідність частішого обслуговування: заміна рідини, слідкування за рівнем масла в системі, перевірка стану приводів, цілісність шлангів і насоса підсилювача;

робота насоса гідропідсилювача безпосередньо пов'язана з двигуном. Під час роботи таких елементів насос постійно відбирає у мотора частину потужності, яка при прямолінійному русі (гідропідсилювач не задіяний) витрачається даремно;

неможливість налаштувати режими роботи механізму залежно від умов руху.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-6

З урахуванням аналізу проблем, а також вимог щодо рульового керування тролейбусів запропоновано рішення підвищення енергоефективності роботи рульових систем тролейбусів за рахунок використання принципу дії електропідсилювачів рульового керування.

Мета роботи. Визначення механічних параметрів електричного підсилювача рульового керування тролейбуса ЛАЗ Е183D1.

Актуальність теми роботи обумовлена доцільністю розробки та створенню рульового керування тролейбуса, яке має високу енергоефективність і просту конструкцію в порівнянні з традиційною.

Аналіз методів розрахунку рульового керування транспортних засобів. Для визначення параметрів електричного підсилювача рульового керування транспортного засобу необхідно встановити сили, які впливають на зусилля при повороті рульового колеса водієм тролейбуса. Вони залежать від конструктивної схеми рульового керування, траєкторії руху, швидкості, маси тощо.

Результати дослідження [2] показали, що на керуючі колеса транспортного засобу діє момент, який складається з сукупності моментів відносно осі шворня керованого колеса:

$$M_{зб} = M_{\omega} + M_p + M_u + M_{mp} + M_j + M_{cm} + M_{pb} + M_{pn} + M_{zpr}, \quad (1)$$

де $M_{\omega}, M_p, M_u, M_{mp}, M_j, M_{cm}, M_{pb}, M_{pn}, M_{zpr}$ – відповідно момент опору повороту шини, пружний момент у рульовому керуванні, стабілізуючий момент шини керованого колеса, що котиться з відведенням, момент тертя у шкворневому вузлі керованого моста, момент інерції, ваговий стабілізуючий момент, швидкісний стабілізуючий момент, момент від рівнодіючої поздовжніх сил, гіроскопічний момент.

Проведені дослідження [2] визначають, що вплив моментів від рівнодіючої поздовжніх сил M_{pn} , швидкісного стабілізуючого моменту M_u та гіроскопічного M_{zpr} є незначними.

Тому розрахунок конструктивних параметрів підсилювача рульового керування транспортного засобу проводиться відповідно щодо максимального моменту опору повороту шини керованих коліс. На поверхнях з високим коефіцієнтом зчеплення при повороті керованого колеса на місці, момент опору повороту шини M_{ω} досягає близько 90% від загального значення [3,4,6]. Зменшення моменту опору повороту шини M_{ω} відбувається під час руху, що у свою чергу призводить до зменшення загального моменту опору повороту керованих коліс.

На основі робіт [3,4,5] визначено, що момент опору повороту шини залежить від кута повороту керованого колеса. При цьому залежність моменту опору від кута повороту шини поділяють на:

ділянку лінійної залежності $M_{\varphi} = f(\Theta)$;

ділянку нелінійної залежності $M_{\varphi} = f(\Theta)$;

ділянку граничного за зчепленням моменту опору повороту шини $M_{\varphi max}$, який не залежить від кута повороту колеса Θ .

Під час повороту керованого колеса на кут до 5° відбувається пружне закручування тіла шини. При цьому кожна точка контактної відбитку шини знаходиться в стані зчеплення з опорною поверхнею. У даному випадку залежність $M_{\varphi} = f(\Theta)$ можна умовно назвати лінійною. Значення моменту опору визначається за формулою:

$$M_{\varphi} = c_{\omega} \Theta, \quad (2)$$

де c_{ω} – кутова жорсткість шини, Н·м/град;

Θ – кут повороту керованого колеса, град.

Значення кутової жорсткості шини визначається за емпіричною залежністю [4,5]:

$$c_{\omega} = kG_k \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

де G_k – навантаження на кероване колесо, Н;

k – визначають у діапазоні 9-11 [4,5].

При кутах повороту керованого колеса у діапазоні 5-13° контактний відбиток шини має зони ковзання та зчеплення. Момент опору повороту шини при цьому визначають [4,5], як :

$$M_{\varphi} = M_{\varphi_{max}} - (M_{\varphi_{max}} - c_{\omega} \Theta) \left(\frac{\Theta_B - \Theta}{\Theta_B - \Theta_A} \right)^2 \quad (4)$$

де $M_{\varphi_{max}}$ – граничний за зчепленням момент опору повороту шини;

Θ_A – максимальний кут повороту колеса на лінійній ділянці, $\Theta_A = 5^{\circ}$;

Θ_B – мінімальний кут повороту колеса на ділянці з граничним зчепленням,

$\Theta_B = 13^{\circ}$.

Для визначення граничного за зчепленням моменту опору повороту шини рекомендується використовувати залежність [3,4]:

$$M_{\varphi_{max}} = \frac{G_k \cdot \varphi}{16ab} \left[\begin{array}{l} (a+2y)(b+2l_0) \sqrt{(a+2y)^2 + (b+2l_0)^2} + \\ + (a-2y)(b+2l_0) \sqrt{(a-2y)^2 + (b+2l_0)^2} + \\ + (a+2y)(b-2l_0) \sqrt{(a+2y)^2 + (b-2l_0)^2} + \\ + (a-2y)(b-2l_0) \sqrt{(a-2y)^2 + (b-2l_0)^2} \end{array} \right], \quad (5)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення шини з контактною поверхнею;

a, b – сторони приведенного рівновеликого прямокутника контактної відбитку шини з контактною поверхнею, м;

y – плече стабілізації, м;

l_0 – плече обкатки, м.

Плече обкатки та плече стабілізації залежать від конструктивних особливостей моста керуючих коліс. Згідно з літературою [4,5] визначаються за формулами:

$$l_0 = l_u - r_k \cdot \operatorname{tg}(\alpha_u + \gamma_{u0}) \quad (6)$$

$$y = r_k \cdot \operatorname{tg} \beta_u \quad (7)$$

де l_u – довжина цапфи, м;

r_k – радіус керуючого колеса, м;

α_u – кут поперечного нахилу шворня, рад;

γ_{u0} – кут розвалу керуючого колеса, рад;

β_u – кут повздовжнього нахилу шворня, рад.

З подальшим збільшенням кута повороту керованого колеса Θ у контактної відбитка відсутні зони зчеплення [3,4], тому момент опору повороту шини відповідає залежності $M_{\phi} = M_{\phi max}$.

Визначення параметрів системи рульового керування на прикладі моделі тролейбуса ЛАЗ Е183D1. Для розрахунку параметрів рульового керування тролейбуса ЛАЗ Е183D1 необхідно визначити основні технічні характеристики [7]:

максимальне технічно-допустиме навантаження, яке припадає на передню вісь, враховуючи масу пасажирів, що складає – 6500 кг;

максимальний кут повороту колеса – 40°;

шини – радіальні, безкамерні, розмірністю 275/70 R22,5;

зовнішній діаметр колеса – 0,957 м.

Передня керована вісь тролейбуса ЛАЗ Е183D1 (рис. 1) являє собою порталну балку двотаврового перерізу в зборі з шарнірами рульової тяги і дисковими гальмівними механізмами [8].

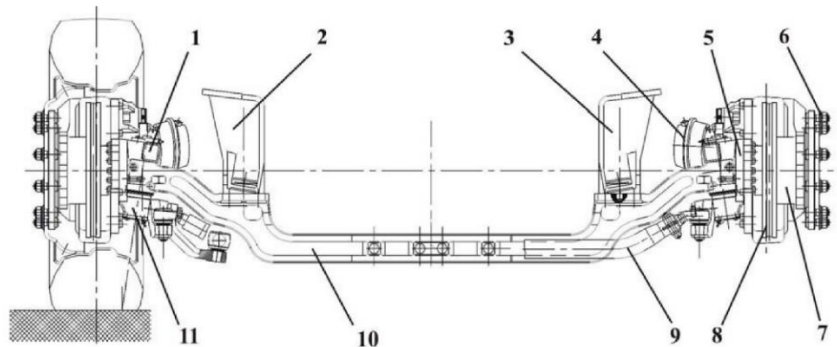


Рис.1. Передня вісь тролейбуса ЛАЗ Е183D1:

- 1 – підшипник шворня верхній; 2, 3 – кронштейн пневмобалону; 4 – гальмівна камера; 5 – поворотна цапфа; 6 – болти та гайки кріплення коліс;
7 – маточина; 8 – гальмівний диск; 9 – поперечна рульова тяга;
10 – балка передньої осі; 11 – підшипник шворня нижній

Керована вісь має такі технічні характеристики [8]:

розвал коліс – 1°;

поздовжній нахил шворня – 2°30’;

поперечний нахил шворня – 4°.

На основі поданої вище методики та технічних параметрів тролейбуса ЛАЗ Е183D1 проведено розрахунок і отримано залежність (рис. 2) моменту опору повороту шини від кута повороту $M_{\phi} = f(\Theta)$ при максимально-допустимому навантаженні на вісь.

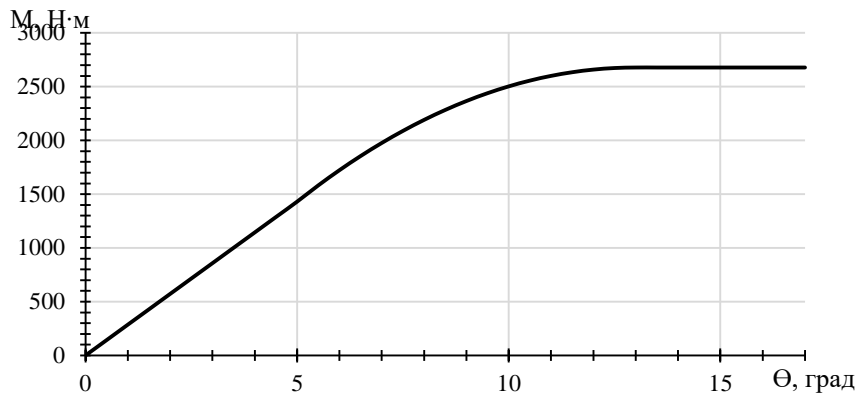


Рис. 2. Залежність моменту опору повороту шини керованого колеса на місці від кута повороту колеса

Отримана залежність $M_{\varphi} = f(\Theta)$ (рис. 2) дозволяє визначити необхідний крутний момент електричного підсилювача керма для забезпечення необхідної легкості керування транспортним засобом. При цьому оптимальна характеристика залежності зусилля водія від моменту опору (рис. 3) має забезпечувати надійний зворотній зв'язок при керуванні транспортним засобом (відчуття дороги) [1].

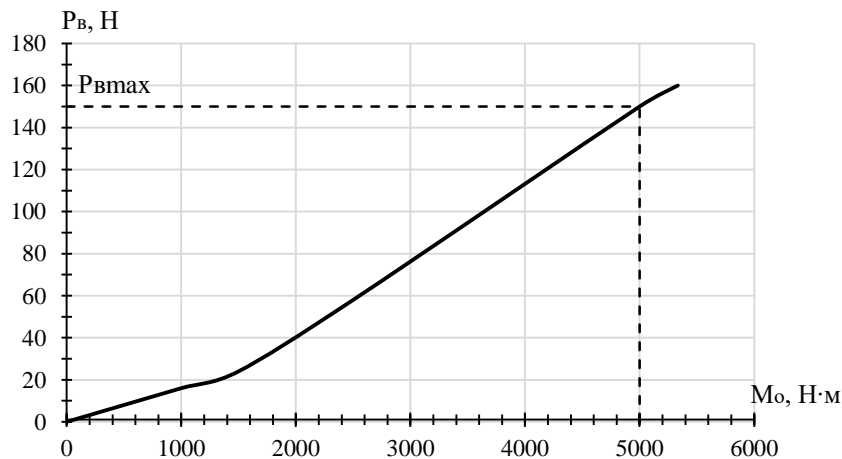


Рис.3. Залежність зусилля водія (Pв) від моменту опору (Mφ)

Динамічні показники, яким має відповідати електричний підсилювач рульового керування, визначають на основі технічних характеристик рульового механізму з системою передачі зусилля від рульового колеса водієм транспортного засобу.

Стандартний рульовий механізм тролейбуса ЛАЗ Е183D1 має передавальне відношення $i = 23,2$.

Водій повертає рульове колесо з максимальною частотою обертання близько 1,5 об/с, тому кутову швидкість валу сошки електропідсилювача рульового приводу можна визначити, як:

$$\omega_c = n \frac{2\pi}{i} \quad (8)$$

де i – передавальне відношення рульового механізму;
 n – частота обертання рульового колеса, об/с.

Виходячи з формули (8) кутова швидкість валу сошки електропідсилювача рульового приводу тролейбусу ЛАЗ Е183D1 становить $\omega_c = 0,41$ рад/с.

Проведений розрахунок показав, що механічні параметри електропідсилювача рульового керування тролейбусу ЛАЗ Е183D1 мають відповідати наступним:

- крутний момент на валу електропідсилювача, не менше 5000 Н·м;
- кутова швидкість вихідного валу електропідсилювача, не менше 0,41 рад/с.

Висновки. Розрахунок конструктивних параметрів системи рульового керування представляє собою визначення моментів, які впливають на зусилля водія повороту керованих коліс, стійкості транспортного засобу, динамічних показників рульового керування. Значну частину моменту опору при повороті керованих коліс на місці складає момент опору повороту шини, відносно якого ведуть розрахунок параметрів підсилювача рульового керування. В роботі на підставі аналізу методів розрахунку рульового керування отримано залежність моменту опору повороту шини керованого колеса на місці від кута повороту при максимально-допустимому навантаженні на вісь тролейбуса ЛАЗ Е183D1. Визначено механічні параметри, яким має відповідати електричний підсилювач рульового керування тролейбусу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Павленко Т.П., Скуріхін В.І., Колотило В.І., Агарков І.В. Аналіз проблем системи рульового керування тролейбусів та перспективи їх вирішення. // Збірник наукових праць ДУІТ, Серія «Транспортні системи і технології», 2018. Вип. 32, с. 115-123.
2. Яценко Д. М. До визначення моментів, що діють на керуючий колісний модуль автомобіля. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія., 2011. Вип. 8., с. 229-234.
3. Клімов Е.С. Щодо визначення моменту опору повороту шини керованого колеса на місці. // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2014. Вип. №46, с.246-251.
4. Солтус А.П., Основы теории рабочего процесса и расчета колесных управляющих модулей: монография // Деп. в Укр. НИИНТИ №501-Ук90 ВИНТИ "Деп. науч. труды", 1990. – № 7(290), б/о с.203 - 234
5. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория: учебник для вузов. // Минск : Выш.шк., 1986., 207 с.
6. Кошарний М.Ф., Основы механики та енергетики автомобіля. // -Київ: Вища шк., 1992. 200 с., с. –128-155.
7. Далека В.Х., Хворост, В.І. Скуріхін, Д.І. Скуріхін. Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина // Навчальний посібник. Х.: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2018. 370 с.
8. Тролейбус Е183D1-01. Керівництво з експлуатації, Львів, 2006р.-277с.
9. Солтус А.П., Клімов Е.С. Дослідження особливостей кінематики відбитка шини керованого колеса при повороті на місці з розблокованим приводом // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2011. №1/2011 (66), част. 1. С. 75–79.
10. Юр'єва Т. Якість надання послуг міським електротранспортом. *Устойчивое развитие городов. Электрический транспорт – перспективы развития и кадровое обеспечение*; матер. конф. – Харків: ХНАМГ, 2009. С. 52-54.
11. Солтус А.П., Пилипенко В.І., Вплив плеча обкатки на граничний за зчепленням момент повороту шини // Вісник КДПУ. 2008. № 1/2008 (48), част.1. С. 71–74.
12. Солтус А. П., Клімов Е.С. Дослідження моменту опору повороту шини керованого колеса на місці залежно від довжини цапфи // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2012. №4. С. 88–93.
13. Солтус А. П., Клімов Е.С., Пилипенко В.І. Дослідження впливу положення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею на поворот керованого колеса на місці // Машинознавство. 2009., №6. С.41–44.
14. Клімов Е. С. Щодо питання визначеності вагового стабілізуючого моменту // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського., 2009. Вип.1 (54). Ч. 1., С. 61 – 65.
15. Клімов Е. С. Вдосконалення методу розрахунку моменту опору повороту шини залежно від конструктивних параметрів керованого моста : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 "автомобілі та трактори" / Клімов Едуард Сергійович. Львів, 2013. – 22 с.

REFERENCES

1. Pavlenko T.P., Skurikhin V.I., Kolotilo V.I., Aharkov I.V., (2018) *Analiz problem systemy rulovoho keruvannia troleibusiv ta perspektyvy yikh vyrishennia* [Analysis of problems of the trolleybuses steering system and perspectives for their solution], Collection of scientific works of DUIT. Series «Transport Systems and Technologies», 2018, issue 32. part.1, pp. 115-123.
2. Yashhenko D. M., (2011) *Do vyznachennya momentiv, shho diyut na keruyuchyj kolisnyj modul avtomobilya* [Determine the moments acting on the steering wheel module of the car], Project management, system analysis and logistics. Technical series. - issue 8. - pp. 229-234.
3. Klimov E.S., (2014) *Shhodo vyznachennya momentu oporu povorotu shy`ny` kerovanogo koleasa na misci.* [Regarding determining the moment of resistance of the steering wheel tire in place.], Intercollegiate collection 'SCIENTIFIC NOTES'. Lutsk, 2014. Issue №46, p.246-251.
4. Soltus. A. P.,(1990) *Osnovy teorii rabocheho proczessa i rascheta kolesny`kh upravlyayushhikh modulej: monografiya*, [Fundamentals of the theory of the working process and the calculation of wheel control modules: a monograph], Scientific works, pp 203-234
5. Grishkevich A.I., (1986) *Avtomobili.Teoriya: uchebnik dlya vtuzov* [Cars. Theory: a book for technical colleges], Minsk: Higher School, 207p.
6. Kosharnyj M.F., (1992) *Osnovy mexaniky ta energetyky avtomobilya.*, [Fundamentals of car mechanics and energy], Kyiv: Higher School, pp. 128-155
7. Daleka V.H., Hvorost M.V., Skurihin V.I., Skurihin D.I. (2018). *Ruhomiy sklad mIiskogo elektrichnogo transportu. Mehanichna chastina* [Rolling stock of urban electric vehicles. Mechanical part] Tutorial, Kharkiv, NUUE in Kharkiv.
8. *Trolejbus E183D1-01. Kerivny`cztvo z ekspluataciyi*, (2006) [Trolley bus E183D1-01. Operation manual], Lviv, 277 p.
9. Soltus. A. P., Klimov E.S., (2011) *Doslidzhennia osoblyvosti kinematyky vidbytka shyny kerovanoho koleasa pry povoroti na mistsi z rozblokovanyim pryvodom* [Investigation of Kinematics Features of the Steering Wheel Tire Imprint when Turning in Place with the Unlocked Drive] Mikhail Ostrogradsky Kremenchuk National University , №1, part 1, pp75-79.
10. Yur`eva T. (2009) *Yakist nadannya poslug miskim elektrotransportom* [Quality of city electric transport services], Ustoychivoe razvitie gorodov. Elektricheskiy transport – perspektivy razvitiya i kadrovoe obespechenie [Sustainable urban development. Electric transport - development prospects and staffing], scientific conference, . Kharkiv, KNAME, pp. 52-54.
11. Soltus. A. P., Pylypenko V.I., (2008) *Vplyv plecha obkatky na hranychnyi za zcheplenniam moment povorotu shyny* [Influence of the running arm on the ultimate grip moment of tire rotation], Bulletin of KNPI issue 48, part 1, pp.71-74.
12. Soltus. A. P., Klimov E.S., (2012) *Doslidzhennia momentu oporu povorotu shyny kerovanoho koleasa na mistsi zalezho vid dovezhyny tsapfy.* Mikhail Ostrogradsky Kremenchuk National University. №4, pp.88-93
13. Soltus. A. P., Klimov E.S., Pylypenko V.I., (2009) *Doslidzhennia vplyvu polozhennia tochky zustrichi osi shvornia z opornoiu poverkhneiu na povorot kerovanoho koleasa na mistsi* [Investigation of the influence of the position of the meeting point of the axis of the pin with the support surface on the rotation of the steered wheel in place], Mechanical Science №6, pp. 41-44.
14. Klimov E.S., (2009) *Shhodo pytannia vyznachenosti vahovoho stabilizuiuchoho momentu* [Concerning the certainty of weight stabilizing moment], Mikhail Ostrogradsky Kremenchuk National University. Issue 1(54), part 1, pp. 61-65
15. Klimov E.S., (2013) Extended abstract of PhD dissertation (Cars and tractors) *Vdoskonalennia metodu rozrakhunku momentu oporu povorotu shyny zalezho vid konstruktivnykh parametriv kerovanoho mosta* [Improvement of the method of calculation of the moment of resistance of a turn of the tire depending on design parameters of the operated bridge]., Lviv, 22 p.

Агарков Иван Валентинович
(аспирант кафедри Електричного транспорту Харківського національного
університету городського господарства імені А.Н.Бекетова)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
УСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ В СИСТЕМЕ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСА**

Проведен анализ методов расчета систем рулевого управления транспортных средств. Получена зависимость момента сопротивления повороту шины на месте от угла поворота управляемого колеса троллейбуса при максимально-допустимой нагрузке на ось. Определены механические параметры электрического усилителя рулевого управления троллейбуса.

Ключевые слова: рулевое управление, электроусилитель, момент сопротивления, угловая скорость, крутящий момент.

Aharkov Ivan Valentynovych
(*PhD degree student of the Department of Electrical Transport of National University of Urban Economy in Kharkiv*)

**DETERMINATION OF MECHANICAL PARAMETERS OF ELECTRIC POWER
STEERING OF THE TROLLEYBUS STEERING SYSTEM**

The methods of calculation of steering systems of vehicles are analyzed. The main factors that influence the driver's efforts when turning steered wheels are identified. They depend on the design of the steering, the trajectory of movement, speed, mass. It is determined that on surfaces with high coefficient of adhesion when turning the steered wheels in place, a significant part of the moment of resistance when turning the wheels is the moment of resistance of the tire rotation.

Reducing the torque of the tire occurs while driving, which in turn reduces the overall torque of the steered wheels. The characteristic of the moment of resistance of the rotation of the tire is non-linear, which complicates the calculation. Therefore, for the calculation of the characteristic is divided into sections with conditionally the same dependence.

The dependence of the moment of resistance of the rotation of the tire on the spot on the angle of rotation of the steered wheel of the trolleybus with the maximum allowable load on the axle was obtained.

The dependence of the driver's effort on the moment of resistance on the steered wheels is shown. The mechanical parameters of the electric power steering of the trolleybus are determined.

Keywords: *steering system, electric power steering, torque, torque of resistance, angular speed.*