

УДК 629.113

Б. І. КАЛЬЧЕНКО, О. В. ГОЛОВІНА, А. П. КОЖУШКО, С. В. РЕДЧИЦЬ

РОЗВИТОК МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ ДВОВІСНОГО АВТОМОБІЛЯ

Стаття містить доопрацьовану математичну модель, яка дозволяє проводити дослідження криволінійного руху двовісного автомобіля. Отримані параметри руху автомобіля дають можливість проектувальнику підвищити точність аналітичного визначення параметрів криволінійного руху двовісного автомобіля, відкоригувати ще на стадії проекту конструктивні параметри автомобіля і уточнити вимоги до характеристик жорсткості шин з метою отримання бажаних експлуатаційних властивостей, на які впливають ці параметри, у майбутнього транспортного засобу.

Ключові слова: двовісний автомобіль, криволінійний рух, траєкторія, кут відведення, момент опору криволінійному руху.

Стаття содержит доработанную математическую модель, которая позволяет проводить исследования криволинейного движения двухосного автомобиля. Полученные параметры движения автомобиля дают возможность проектировщику повысить точность аналитического определения параметров криволинейного движения двухосного автомобиля, откорректировать еще на стадии проекта конструктивные параметры автомобиля и уточнить требования к жесткостным характеристикам шин с целью получения желаемых эксплуатационных свойств, на которые влияют эти параметры, у будущего транспортного средства.

Ключевые слова: двухосный автомобиль, криволинейное движение, траектория, угол увода, момент сопротивления криволинейному движению.

The article contains a modified mathematical model that allows to carry out investigations of the curvilinear motion of a two-axle vehicle. The obtained parameters of the car's movement enable the designer to improve the accuracy of the analytical definition of the parameters of the biaxial vehicle's curvilinear motion, to correct at the project stage the design parameters of the car and to clarify the requirements for the rigidity characteristics of the tires in order to obtain the desired performance characteristics that these parameters affect in the future vehicle.

Key words: a two-axle vehicle, curvilinear motion, trajectory, moment of resistance to curvilinear motion.

Вступ. В останні роки пріоритетним напрямком діяльності автомобільних підприємств є найбільш повне і максимально швидко задоволення індивідуальних побажань замовника в області модернізування конструктивних особливостей самохідних машин, зокрема, автомобілів. Такий напрям в роботі проектувальників та розробників вимагає наявності гнучких і простих математичних інструментів для перевірки на оптимальне (раціональне) співвідношення показників експлуатаційних властивостей майбутніх транспортних засобів ще на стадії проектування. В роботі розглядаються способи визначення деяких параметрів криволінійного руху, його траєкторії, за допомогою яких можна в першому наближенні оцінити і маневреність, і поворотність, і керованість двовісного автомобіля на стадії проектування (на прикладі автомобіля КраЗ-5131ВЕ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Криволінійний рух автомобіля, траєкторія руху тісно пов'язані з такими експлуатаційними властивостями як керованість, маневреність, поворотність, стійкість. Дослідженню цих властивостей присвячені роботи А.С. Литвинова, Д.А. Антонова, М.А. Подригало, В.П. Волкова, В.М. Полякова, Д.М. Клеца, В.А. Горелова, А.Г. Болдирева і т.д. Вчені, в залежності від цілей своїх досліджень, пропонують різні математичні моделі представлення транспортних засобів, різні показники і критерії оцінки властивостей.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою даної роботи є визначення параметрів криволінійного руху двовісного автомобіля, на прикладі КраЗ-5131ВЕ, за допомогою яких можна в першому наближенні оцінити маневреність, поворотність і

керованість двовісного автомобіля ще на стадії проектування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступну задачу – обрати аналітичні залежності для дослідження руху двовісного автомобіля, для визначення кутової швидкості, кутового прискорення поздовжньої осі автомобіля, для визначення сумарного моменту опору криволінійному руху, для визначення радіуса кривизни траєкторії з урахуванням руху автомобіля на еластичних колесах (з урахуванням кутів відведення).

Основна частина. У статті використана математична модель, яка складена для тривісного автомобіля і запропонована в роботі [7]. Особливістю розглянутої моделі є те, що враховується взаємодія кожного колеса з опорною поверхнею, що дозволяє значно підвищити точність визначених параметрів, а значить більш точно виконати попередню оцінку проектного автомобіля.

В роботі розглянуто криволінійний рух двовісного автомобіля, який рухається по абсолютно жорсткій горизонтальній поверхні, рама і кузов автомобіля вважаються абсолютно жорсткими, колеса без дисбалансу. Дослідження проводилися на прикладі автомобіля КраЗ-5131ВЕ, плоска схема якого представлена на рис.1.

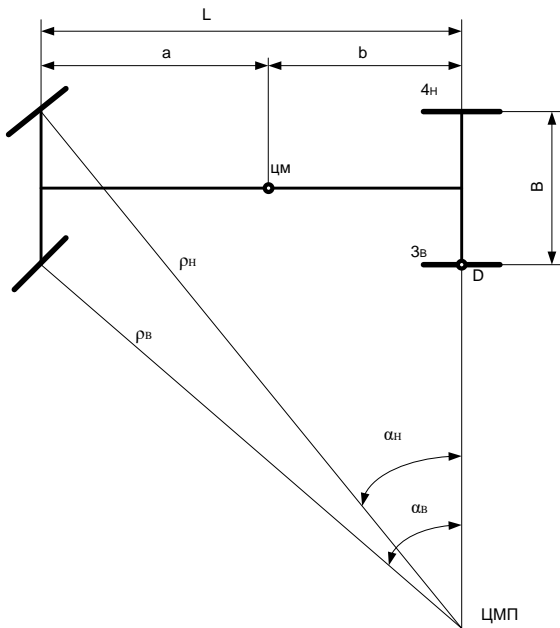


Рис. 1 – Плоска схема двовісного автомобіля

Для дослідження руху двовісного автомобіля авторами були доопрацьовані рівняння, які прийняли такий вид:

$$\frac{dV_A}{dt} = \left(\frac{M_{qb} \cdot i_{TP} \cdot \eta_{TP}}{r_k} - fG_A - \frac{1}{r_k} \sum M_i - KFV_A^2 \right) \cdot \frac{1}{m_A \cdot \delta_{\varphi}}; \quad (1)$$

$$\omega_A = \frac{d\omega_A}{dt} = \frac{1}{I_{zc}} (M_{пов} - M_f - \sum M_i); \quad (2)$$

де V_A – лінійна швидкість автомобіля; ω_A – кутова швидкість автомобіля щодо вісі, перпендикулярної площині дороги; r_k – радіус кочення колеса; f – коефіцієнт опору кочення колеса; $M_{пов}$ – момент, що повертає; M_f – момент опору від сили тертя кочення; I_{zc} – момент інерції автомобіля щодо вертикальної вісі, що проходить через центр відносного повороту; $\sum M_i$ – сумарний момент опору криволінійному руху.

Моменти, що утворюються у контактному відбитку від розвалу і сходження, не враховуються зважаючи на їх малу величину. Гіроскопічними моментами нехтуємо, у зв'язку з їх малою величиною.

Основним складовим диференціальних рівнянь математичної моделі є сумарний момент опору криволінійному руху, який складається з швидкісного моменту опору і моменту опору, що утворюється при русі автомобіля по траєкторії радіусом ρ . Сумарний момент опору криволінійному руху двовісного автомобіля визначається виразом:

$$\sum M_i = \sum_{i=1}^4 M_{\rho_i} + \sum_{i=1}^4 M_{v_i}, \quad (3)$$

де M_{v_i} – момент опору криволінійному руху колеса від дії зовнішньої бокової сили або сили інерції (швидкісний момент); M_{ρ_i} – момент опору, який утворюється при русі автомобіля по траєкторії радіусом ρ .

Моменти опору криволінійному руху від кривизни траєкторії з радіусами ρ_i визначаються:

$$M_{\rho_i} = c_{\omega_i} \cdot \theta_{\rho_i}, \quad (4)$$

де c_{ω_i} – кутові жорсткості шин відповідних коліс; θ_{ρ_i} – кут відведення шини колеса, що рухається по траєкторії радіусом ρ_i .

Швидкісний момент опору криволінійному руху визначається:

$$M_{v_i} = c_{\omega_i} \cdot \theta_{k_i}, \quad (5)$$

де θ_{k_i} – кут відведення шини колеса, що рухається по радіусу R_k (радіус траєкторії середньої лінії шини).

Значення швидкісного моменту опору криволінійному руху необхідно контролювати, воно не повинно перевищувати значення моменту опору повороту по зчепленню M_{φ} , [7]. Якщо буде виконуватися умова $M_{v_i} \geq M_{\varphi_i}$, тоді для цього положення і при цьому навантаженні у рівняння (3) замість швидкісного моменту опору криволінійному руху необхідно підставляти момент опору повороту по зчепленню:

$$M_{\varphi_i} = \frac{R_{zi} \cdot \phi}{4} \cdot \sqrt{a_i^2 + b_i^2}, \quad (6)$$

де a_i – розмір подовжньої осі контактної відбитку колеса з опорною поверхнею; b_i – розмір поперечної осі контактної відбитку колеса з опорною поверхнею

В роботі [6] В.В. Редчицем доведено, що кут закрутки шини (кут відносного повороту контактної відбитка) це є не що інше як кут відведення, який визначається виразами (7) або (8) залежно від радіусів кривизни траєкторії різного фізичного походження:

$$\theta_{\rho_i} = \frac{a_i + 2 \cdot x}{4 \rho_i}; \quad (7)$$

$$\theta_{R_k} = \frac{a_i + 2 \cdot x}{4 \cdot R_k}, \quad (8)$$

де R_k – радіус траєкторії середньої лінії шини від дії зовнішньої бічної сили; x – зміщення осі повороту відбитка щодо його центру; a_i – розмір подовжньої

вісь контактного відбитка шини.

Радіус кривизни траєкторії середньої лінії шини від дії зовнішньої бічної сили прикладеної до центру колеса визначається залежністю, яка складена за допомогою рівняння неголономних зв'язків М.В. Келдиша:

$$R_{ki} = \frac{\left(\frac{a_i}{4\theta_B}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\cos 2\theta_B} - 1\right)}{\frac{F_{yi}}{c_{uyi}} \cdot \frac{R_{z0}}{R_{zi}}}, \quad (9)$$

де R_{z0} – навантаження на шину в статиці; R_{zi} – навантаження на шину в динаміці; F_{yi} – зовнішня бічна сила; θ_B – граничний кут, при якому ще існує лінійна залежність між моментом опору повороту колеса на місці від кута повороту при визначенні кутовий жорсткості шини, $\theta_B = 0,08722 \dots 0,12211$ рад.

Загальна бічна сила, прикладена в центрі мас, розподіляється по внутрішньому і зовнішньому бортах пропорційно бічній жорсткості найбільш навантажених коліс. У свою чергу, зовнішня бічна сила, яка припадає на борт, розподіляється по колесах пропорційно їх відстані від центру мас. З вище сказаного, була записана залежність визначення зовнішньої бічної сили, що припадає на одне колесо. Для зовнішнього переднього колеса залежність має вигляд

$$F_{yH} = \frac{m_A \cdot V_A^2 \cdot l_1 \cdot c_{uyH} \cdot \sin(\alpha_{1B} \cdot \tau_i)}{L^2 \cdot (c_{uyH} + c_{uyB})}, \quad (10)$$

де V_i – швидкість автомобіля; α_{1B} – кутова швидкість повороту внутрішнього керованого колеса.

З криволінійним рухом автомобіля пов'язана його поворотність. Згідно роботи [5], поворотність – властивість, що характеризує здатність машини змінювати курсової кут відповідно до керуючого впливу. Характеристика поворотності автомобіля може бути представлена у вигляді залежності радіусу повороту від кута повороту керованих коліс α : $\rho = f(\alpha)$. Тому, визначення радіуса траєкторії руху є важливим, так як дозволить дати оцінку поворотності, а значить, в якійсь мірі, і керованості розглянутого транспортного засобу. За радіус ρ кривизни траєкторії приймається відстань по перпендикуляру від миттєвого центра повороту (ЦМП) до точки перетину поздовжньої осі автомобіля з задній віссю. Розрізняють два радіуса траєкторії, по якій рухається автомобіль. Це радіус траєкторії при русі автомобіля на жорстких колесах ρ_{ji} і дійсний радіус при русі автомобіля на еластичних шинах ρ_{zi} . У першому випадку не враховується відведення колеса і значення

радіусу визначається кінематикою (кінематичний радіус):

$$\rho_{ji} = \frac{L}{\dot{\alpha}_{1B}} + \frac{B}{2}, \quad (11)$$

Саме радіус на жорстких колесах традиційно використовують проектувальники при розробці конструкції автомобіля.

Дійсний (фактичний) радіус кривизни траєкторії, по якій автомобіль рухається на еластичних шинах, тобто з урахуванням кутів відведення, можна визначити за формулою:

$$\rho_{zi} = \frac{L}{\dot{\alpha}_{2H} - \dot{\theta}_i} - \frac{B}{2}. \quad (12)$$

Для визначення дійсного радіуса кривизни траєкторії використовується метод ітерацій, [9]. У першому наближенні ведеться розрахунок кінематичного радіуса, без урахування відведення і при постійній швидкості. У другому наближенні ведеться розрахунок дійсного радіуса ρ_{zi} (повернення в початок завдання, повторення її рішення, але вже з урахуванням відведення, але при постійній швидкості). Як тільки автомобіль почав рухатися по траєкторії з радіусом ρ_{zi} , зовнішні сили і моменти, при взаємодії колеса з опорною поверхнею, змінюються. Тому, отримавши ρ_{zi} , виконується третя наближення (визначаються по-новому все зовнішні сили, моменти, кути відведення, жорсткості і т.д.) з урахуванням зміни радіуса кривизни траєкторії ρ_{zi} для кожного колеса, розрахованим на попередньому етапі.

Якщо в другому наближенні радіус кривизни траєкторії визначається при постійній швидкості, то в третьому наближенні враховується зміна швидкості (методом чисельного інтегрування) від зростаючих сил і моментів опору криволінійному руху при вході в поворот.

Запропоновані в [8] залежності (13) і (14), дозволяють визначити кутову швидкість і кутове прискорення поздовжньої вісі автомобіля з урахуванням руху автомобіля на еластичних колесах:

$$\omega_{Ai} = \frac{V_{Ai}}{\rho_i}; \quad (13)$$

$$\varepsilon_{Ai} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \left(\frac{V_{Ai+1}}{\rho_{i+1}} - \frac{V_{Ai}}{\rho_i} \right), \quad (14)$$

На основі вищезазначеного сформовано загальну концепцію подальшого розвитку математичної моделі криволінійного руху двовісного автомобіля.

Результати дослідження. В роботі розглядалося криволінійний рух двовісного автомобіля Кра3-5131BE з колісною формулою 4×4, з технічними

характеристиками: повна маса автомобіля $m_A = 16300$ кг, навантаження на передню вісь $R_{z01} = 9100$ кг, навантаження на задню вісь $R_{z02} = 7200$ кг, відстань між осями $L = 5$ м, колія $B = 2,16$ м, висота центра мас $h_z = 1,36$ м, коефіцієнт опору коченню $f = 0,02$, кутова жорсткість шини $C_\omega = 460$ Н·м/град при навантаженні на колесо $R_z = 36$ кН, розмір продовжній вісі контактного відбитку шини $a = 0,34$ м при навантаженні на колесо $R_z = 36$ кН. Сумарний момент опору криволінійному руху визначався на різних швидкісних режимах руху.

Графіки зміни у часі сумарного моменту опору криволінійному руху автомобіля КрА3-5131ВЕ надано на рис. 2.

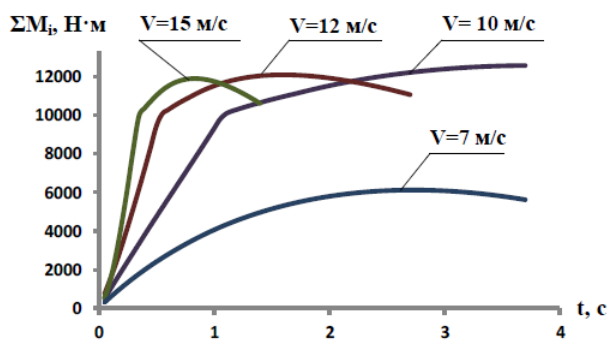


Рис. 2 – Зміна в часі моменту опору криволінійному руху при різних швидкостях руху автомобіля КрА3-5131ВЕ

Зміна в часі радіусів кривизни траєкторії, на жорстких і еластичних колесах, при русі автомобіля КрА3-5131ВЕ зі швидкістю 50 км / год представлені на рис. 3.

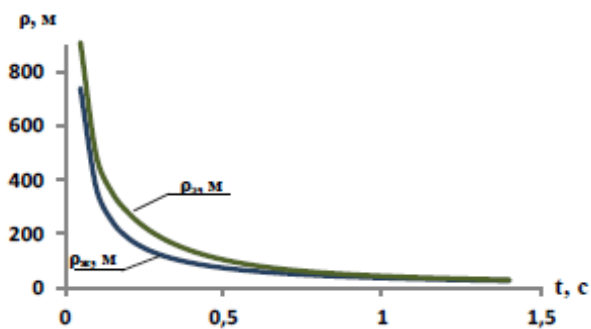


Рис. 3 – Зміна в часі радіусів кривизни траєкторії, на жорстких і еластичних колесах, при русі автомобіля КрА3-5131ВЕ з $V = 50$ км/год

Значення радіусів відрізняються, особливо на початку входження в поворот, до 15%. Тому, не зовсім коректно закладати в конструкцію автомобіля кінематичний радіус траєкторії руху.

Так як на радіус траєкторії руху впливають практично всі конструктивні параметри автомобіля та жорсткісні характеристики шин, то авторами в роботі [9] запропоновано оцінювати поворотність порівняльним узагальненим показником – відношенням радіуса без урахування відведення до

дійсного радіуса кривизни траєкторії, $\frac{\rho_{жі}}{\rho_{зі}}$. Якщо

співвідношення $\frac{\rho_{жі}}{\rho_{зі}} = 1$ – автомобіль має нейтральну

поворотність, якщо $\frac{\rho_{жі}}{\rho_{зі}} < 1$ – автомобіль має

недостатню поворотність, якщо $\frac{\rho_{жі}}{\rho_{зі}} > 1$ – автомобіль має недостатню поворотність.

На рис. 4 представлені зміни ставлення радіуса кривизни траєкторії руху автомобіля КрА3-5131ВЕ на жорстких колесах до радіуса кривизни траєкторії руху на еластичних колесах і показані зони надлишкової та недостатньої поворотності.

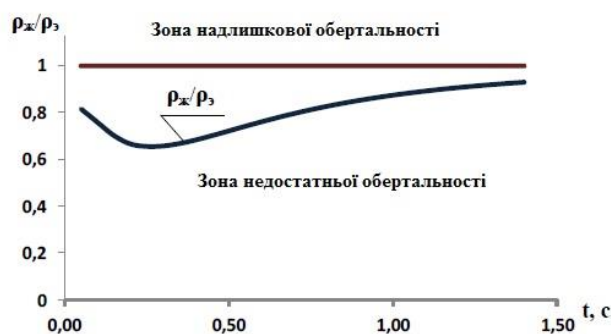


Рис. 4 – Відношення радіуса кривизни траєкторії руху автомобіля КрА3-5131ВЕ на жорстких колесах до радіуса кривизни траєкторії руху на еластичних колесах

Уміння, ще на стадії проекту, визначати положення автомобіля в будь-який момент часу входу в поворот і будувати траєкторію його руху з урахуванням взаємодії еластичного колеса з опорною поверхнею дозволить проводити імітацію найбільш типових режимів руху: обгін або об'їзд перешкоди, зміна смуги руху, розворот і ін., та надає можливість в першому наближенні оцінювати маневреність транспортного засобу. Способом, запропонованим в роботі [9] була побудована траєкторія руху розглянутого автомобіля, рис. 5, при вході в поворот зі швидкістю $V = 50$ км/год. Відповідно до роботи [7] поворот рульового колеса з кутовою швидкістю 7 ... 9 рад/с без зміни положення рук на ньому може продовжуватися 0,2 ... 0,3 с. Це буде максимальна кутова швидкість рульового колеса – $\omega_{рк} = \max$. Кутова швидкість повороту лівого керованого при обертанні рульового колеса з кутовою швидкістю $\omega_{рк} = 7$ рад/с буде дорівнювати:

$$\alpha_{lb} = \frac{\omega_{рк}}{i_{рп}} = \frac{7}{23,6} = 0,296 \text{ рад/с.}$$

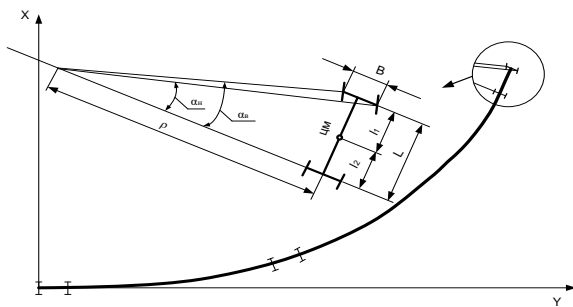


Рис. 5 – Траєкторія руху розглянутого автомобіля КраЗ-5131ВЕ при вході в поворот зі швидкістю $V = 50$ км / год

Здатність будувати траєкторію криволінійного руху дозволяє визначати графічно такі геометричні показники маневреності: ширину смуги руху, яку займає автомобіль при повороті, радіуси повороту за габаритами, максимальний вихід окремих частин автомобіля за межі траєкторії руху зовнішнього переднього і внутрішнього заднього коліс; що надає можливість в першому наближенні оцінювати маневреність транспортного засобу ще на стадії проектування.

Використовуючи залежності (13) і (14), для автомобіля КраЗ-5131ВЕ були визначені кутова швидкість і кутове прискорення поздовжньої вісі автомобіля на різних режимах руху. Результати представлені на рис. 6.

На рис. 6 видно, що кутова швидкість поздовжньої осі автомобіля до певного моменту часу збільшується, потім починає зменшуватися зі зменшенням лінійної швидкості. При цьому кутові прискорення поздовжньої вісі автомобіля в певний момент часу мають негативні значення, що не повинно залишатися поза увагою проектувальником.

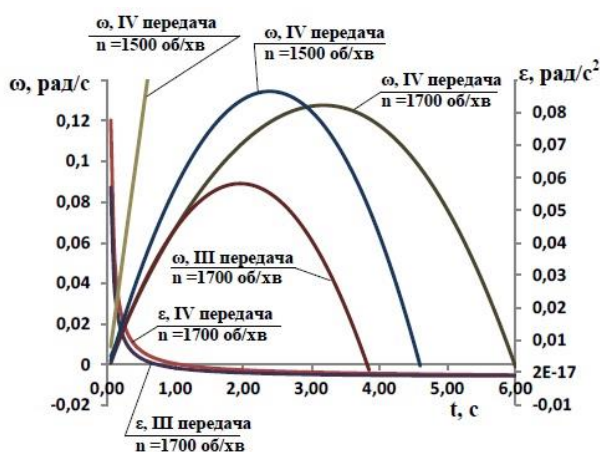


Рисунок 6 – Зміна кутової швидкості і кутового прискорення поздовжньої вісі автомобіля КраЗ-5131ВЕ при різних режимах руху

Таким чином, на прикладі автомобіля КраЗ-5131ВЕ обґрунтовано доцільність використання

розробленого математичного підходу.

Висновки. Розвинена математична модель з диференційованим урахуванням взаємодії коліс з опорною поверхнею, яка дає можливість підвищити точність визначення параметрів траєкторії криволінійного руху двовісного автомобіля і побудувати траєкторію входу в поворот з урахуванням кочення на еластичних шинах. Окрім того, дозволяє розробнику (проектувальнику) ще на стадії проекту відкоригувати конструктивні параметри автомобіля та уточнити вимоги до характеристик жорсткості характеристикам шин з метою отримання оптимальних (раціональних) співвідношень експлуатаційних властивостей у майбутнього транспортного засобу.

Список літератури

1. Литвинов А.С. Управление и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М: Машиностроение, 1971. – 416 с.
2. Клец Д.М. Определение взаимосвязи между критериями маневренности колесных машин / Д. М. Клец // Вісник Національного технічного університету «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2013. – № 31 (1004). – С. 35–43.
3. Маневренность и тормозные свойства колесных машин. / [Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А.] – Харьков.: Издание ХНАДУ, 2002. – 404 с.
4. Кальченко Б.І. Моделирование криволінійного руху дволанкового автопоїзду на прикладі маневру "переставка" / Б.І. Кальченко, В.В. Редчиць, О.В. Головіна // Вісник Національного технічного університету «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2017. – № 5(1227). – С. 14 – 18.
5. Теория движения боевых колесных машин. / [Антонов Д.А., Беспалов С.И., Лазаренко В.П., Маковой В.С., Тимофеев В.Д., Шижкин В.А.] – М.: Издание академии бронетанковых войск, 1993. – 385 с.
6. Редчиць В.В. О явлении относительного поворота контактного отпечатка движущегося колеса / В.В. Редчиць // Автомобильная промышленность. – 1974. – №3. – С. 28 – 30.
7. Редчиць В.В. Динамическая поворачиваемость трехосного автомобиля. / В.В. Редчиць, Е.В. Головіна, К.И. Гораш // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2008. – №3(21) – С.96 – 110.
8. Головіна Е.В. Некоторые особенности динамики входа в поворот трехосного автомобиля / Е.В. Головіна // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2009. – №3(25). – С.91–93.
9. Редчиць В.В. Проектування рулевих керувань колісних машин / В.В. Редчиць, В.Б. Рудасьов, О.В. Головіна, О.М. Коробочка. – Дніпродзержинськ.:ДІТУ, 2014. – 404 с.
10. Болдырев А.Г. Метод оценки энергетических затрат при функционировании всеколесного рулевого управления многоосных колесных машин на стадии проектирования: автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : спец. 05.05.03. «Колесные и гусеничные машины» / А.Г. Болдырев. - Москва, 2007. – 16 с

References (transliterated)

1. Litvinov A. S. Upravljajemost' i ustojchivost' avtomobilja / A. S. Litvinov. – M: Mashinostroenie, 1971. – 416 s.
2. Klec D.M. Opredelenie vzaimosvjazi mezhdu kriterijami manevrennosti kolesnyh mashin / D. M. Klec // Visnik NTU «HP». Serija: Transportne mashinobuduvannja. – H. : NTU «HP», 2013. – № 31 (1004). – S. 35–43.
3. Manevrennost' i tormoznye svojstva kolesnyh mashin. / [Podrigalo M.A., Volkov V.P., Kirchatyj V.I., Boboshko A.A.] – Har'kov.: Izdanie HNADU, 2002. – 404 s.
4. Kal'chenko B.I. Modelyuvannya kryvoliniynoho rukhu dvolankovoho avtopoyizdu na prykladі manevru "perestavka" / B.I. Kal'chenko, V.V. Redchyt's', O.V. Holovina // Visnyk

- Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 5(1227). – S. 14 – 18.
5. Teorija dvizhenija boevykh kolesnykh mashin. / [Antonov D.A., Bepalov S.I., Lazarenko V.P., Makovej V.S., Timofeev V.D., Shishkin V.A.] – M.: Izdanie akademii bronetankovykh vojsk, 1993. – 385 s.
 6. Redchic V.V. O javlenii odnositel'nogo povorota kontaktnogo otpechatka dvizhushhegosja kolesa / V.V. Redchic // Avtomobil'naja promyshlennost'. – 1974. – №3. – S. 28 – 30.
 7. Redchic V.V. Dinamicheskaja povorachivaemost' trehosnogo avtomobilja. / V.V. Redchic, E.V. Golovina, K.I. Gorash // Novi tehnologii. Naukovij visnik KUEITU. – 2008. – №3(21) – S.96 – 110.
 8. Golovina E.V. Nekotorye osobennosti dinamiki vhoda v povорот trehosnogo avtomobilja / E.V. Golovina // Novi tehnologii. Naukovij visnik KUEITU. – 2009. – №3(25). – S.91–93.
 9. Redchic' V.V. Proektuvannja rul'ovykh keruvan' kolisnih mashin / V.V. Redchic', V.B. Rudas'ov, O.V. Golovina, O.M. Korobochka. – Dniprodzerzhinsk.: DDTU, 2014. – 404 s.
 10. Boldyrev A.G. Metod otsenki energeticheskikh zatrat pri funktsionirovanii vsekolesnogo rulevogo upravleniya mnogoosnykh kolesnykh mashin na stadii proektirovaniya: avtoref. dis. na soiskanie nauchnoy stepeni kand. tekhn. nauk : spets. 05.05.03. «Kolesnye i gusenichnye mashiny» / A.G. Boldyrev. – Moskva, 2007. – 16 s.

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розвиток математичної моделі криволінійного руху двовісного автомобіля / Б. І. Кальченко, О. В. Головіна, А.П. Кожушко, С. В. Редчиць // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле- і тракторобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 13 (1235). – С. 45 – 50. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Развитие математической модели криволинейного движения двухосного автомобиля / Б. И. Кальченко, Е. В. Головина, А.П. Кожушко, С.В. Редчиц // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серія: Автомобиле- и тракторостроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 13 (1235). – С. 45 – 50. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Development the mathematical models of curvilinear motion by a two-axle vehicle / V. V. Redchits, B. I. Kalchenko, E. V. Golovina, A.P. Kozhushko, S. V. Redchits // The bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Automobile and tractor construction. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 13 (1235). – С. 45 – 50. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кальченко Борис Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автомобіле- та тракторобудування; тел.: (057) 707-64-64; e-mail: kabor78@ukr.net.

Кальченко Борис Іванович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры автомобиле- и тракторостроения; тел.: (057) 707-64-64; e-mail: kabor78@ukr.net.

Kalchenko Boris Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Car and Tractor Industry; tel.: (057) 707-64-64; e-mail: kabor78@ukr.net.

Головіна Олена Валентинівна – кандидат технічних наук, доцент, Приватний класичний університет, м. Кременчук, доцент кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій; тел.: (067) 588 86 35; e-mail: elenholz@gmail.com.

Головіна Елена Валентиновна – кандидат технических наук, Приватный классический университет, г. Кременчуг, доцент кафедры автомобильного транспорта и транспортных технологий; тел.: (067) 588 86 35; e-mail: elenholz@gmail.com.

Holovina Elena Valentinovna – Candidate of Technical Sciences, Classic private university, Kremenchug, Docent at the Department of Automobile Transport and Transport Technology; tel.: (067) 588 86 35; e-mail: elenholz@gmail.com.

Кожушко Андрій Павлович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автомобіле- та тракторобудування, тел.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Andreykozhusko7@gmail.com

Кожушко Андрей Павлович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры автомобиле- и тракторостроения, тел.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Andreykozhusko7@gmail.com

Kozhushko Andriy Pavlovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Lecturer at the Department of Car and Tractor Industry, tel.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Andreykozhusko7@gmail.com

Редчиць Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, головний інженер «Гипрокаучук», Россия; e-mail: elenholz@gmail.com.

Редчиц Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, главный инженер «Гипрокаучук», Россия; e-mail: elenholz@gmail.com.

Redchits Sergey Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Chief Engineer of “Giprokauchuk”, Russia; e-mail: elenholz@gmail.com.