

УДК 629.113.001.1(075)

Ю.В. Шабатура, В.Д. Залипка

Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ РУХУ МОДИФІКОВАНИХ ВІЙСЬКОВИХ КОЛІСНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ВАРІАТИВНІЙ ЗМІНІ РАДІУСУ КОЛІС

Отримані математичні моделі динаміки руху модифікованих військових колісних засобів при варіативній зміні радіусу коліс та виконано їх комп'ютерне моделювання.

Ключові слова: військові колісні засоби, траєкторія руху, кут напрямку руху, зміна радіусу коліс.

Вступ

В усіх видах військ Збройних Сил України серед існуючих транспортних засобів особливе місце займають військові колісні засоби (ВКЗ). Вони є невід'ємною складовою військових частин і підрозділів та відіграють важливу роль у підтриманні їх боєздатності. Відповідно до свого призначення вони здатні швидко пересуватися як по дорогах так і в умовах бездоріжжя. Як показує досвід сучасних бойових дій ВКЗ повинні належним чином забезпечувати мобільність військ, озброєння та різноманітного устаткування, яке розміщується на їх базі, адже динаміка збройних конфліктів постійно зростає, тому успішне виконання бойового завдання залежить від експлуатаційних властивостей які мають ВКЗ. Якщо ці властивості відповідають вимогам сучасного бою – це перевага над противником, якщо ні – поразка. Особливого значення у зв'язку з цим набувають дослідження пов'язані з вирішенням задач покращення експлуатаційних властивостей ВКЗ [3 – 5]. Як показує світовий досвід [5], суттєві результати у досягненні цієї мети можливі лише за рахунок впровадження нових ідей, принципів та технологій. Враховуючи це, авторами був запропонований принципово новий метод здійснення поворотів ВКЗ, який не потребує традиційної зміни напрямку площин обертання коліс та обов'язкового використання диференціала. В основі роботи запропонованого методу лежить зміна ефективного діаметру коліс, причому, для здійснення повороту всі внутрішні колеса по відношенню до кривизни траєкторії шляху зменшують в діаметрі, а всі зовнішні – відповідно збільшують [1]. Військові колісні засоби в яких використовується запропонований метод в подальшому матеріалі статті будемо називати модифікованими ВКЗ. У даній статті розглядатиметься динаміка руху модифікованих ВКЗ при варіативній зміні радіусу коліс.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. В попередній роботі [2] були розроблені теоретичні принципи та практичні аспекти застосування нового

методу керування зміною напрямку руху модифікованих ВКЗ. Зокрема, здійснено оцінювання критичних умов руху модифікованих ВКЗ та виконаний їх порівняльний аналіз по відношенню до традиційних ВКЗ, досліджені особливості кінематики їх руху і основних конструкційних властивостей, також виведені математичні співвідношення які описують динаміку руху модифікованих ВКЗ при сталій зміні радіусу коліс. Разом з тим залишилося недослідженим важливе для науки і цінне для практики питання дослідження динаміки руху модифікованих ВКЗ при варіативній зміні радіусу коліс.

Постановка задачі дослідження. Враховуючи те, що раніше розроблені математичні моделі дозволяють описувати динаміку руху модифікованих ВКЗ при фіксованій зміні радіусів коліс, що є частковим випадком динаміки руху таких ВКЗ, тому метою даної роботи є створення математичних моделей, які дозволять виконати дослідження динаміки руху модифікованих ВКЗ при варіативній зміні радіусів коліс.

Основний матеріал

Розглянемо задачу знаходження траєкторії руху модифікованого ВКЗ на площині при умові варіативної зміни радіусу коліс. Для спрощення будемо вважати, що швидкість обертання коліс є сталою, керування напрямком руху відбувається завдяки зміні радіусів коліс Δr . Причому, якщо приріст радіусів коліс одного борту є позитивним, то для другого борту він є негативним. Такі припущення дають змогу ідентифікувати часову змінну із узагальненою координатою, що характеризує рух ВКЗ [6 – 9].

Положення ВКЗ на площині будемо характеризувати трьома параметрами: координатами (x_0, y_0) його центру мас M у деякій прямокутній системі декартових координат Ox, Oy , а також кутом α , який утворює напрям руху ВКЗ із додатнім напрямом осі Ox , як показано на рис. 1.

Нехай за достатньо малий проміжок часу Δt ведуча вісь ВКЗ обернеться на малий кут $\Delta \gamma_0$, який можна визначити з співвідношення:

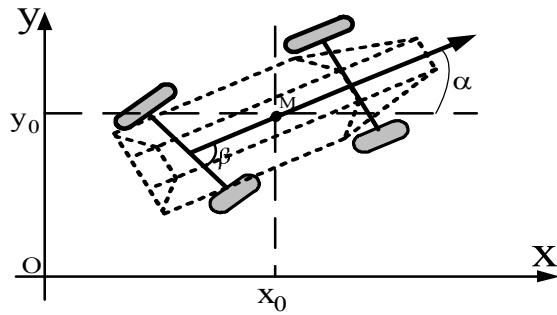


Рис. 1. Параметри, що задають положення і напрям руху ВКЗ на місцевості (площині)

$$\Delta\gamma_0 = \omega_0 \Delta t, \quad (1)$$

де ω_0 – швидкість обертання осі.

Тоді буде мати місце незначне, а отже близьке до прямолінійного переміщення ВКЗ Δu , причому:

$$\Delta u = r \Delta\gamma_0, \quad (2)$$

де r – радіус коліс прийнятий за постійний протягом даного часового проміжку.

Враховуючи кут напрямку руху ВКЗ в заданій системі координат запишемо малі прирости його координат [10]:

$$\Delta x = v_0 \Delta t \cos \alpha; \quad (3)$$

$$\Delta y = v_0 \Delta t \sin \alpha, \quad (4)$$

де $v_0 = r\omega_0$.

Знайдемо відповідний приріст кута α для цього розглянемо виділений елемент траєкторії руху ВКЗ, який наведений на рис. 2.

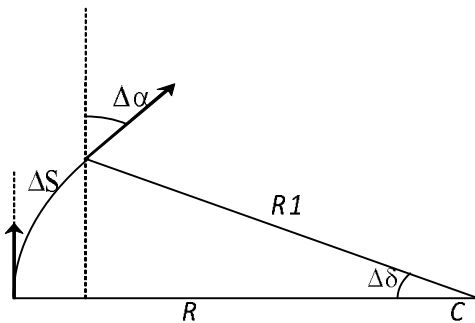


Рис. 2. Елемент траєкторії руху ВКЗ при повороті

На рис. 2 прийняті такі позначення:

C – центр повороту;

$R \approx R_1$ – радіус повороту.

Як очевидно з рисунку, кут $\Delta\alpha$ дорівнює куту $\Delta\delta$, на який повернувся ВКЗ навколо центру повороту.

Значення кута $\Delta\delta$ визначиться з співвідношення:

$$\Delta\delta = \frac{\Delta s}{R} = \frac{r}{R} \Delta\gamma_0 = \frac{r}{R} \omega_0 \Delta t, \quad (5)$$

де Δs – мале переміщення ВКЗ по траєкторії шляху.

Враховемо, що радіус повороту визначається за формулою:

$$R = \frac{Dr}{2\Delta\gamma}, \quad (6)$$

де D – колія; $\Delta\gamma$ – зміна радіусу коліс.

Тому значення кута $\Delta\delta$ можна розрахувати з наступного співвідношення:

$$\Delta\delta = \frac{2\Delta r \omega_0}{D} \Delta t. \quad (7)$$

Як наслідок, для малого приросту кута напрямку руху ВКЗ отримуємо:

$$\Delta\alpha = u_0 \Delta t, \quad (8)$$

де $u_0 = \frac{2\Delta r \omega_0}{D}$.

Після ділення виразів (3), (4), (8) на Δt та знаходження їх границь при $\Delta t \rightarrow 0$ отримуємо узагальнену математичну модель динаміки, яка представлена системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = r\omega_0 \cos \alpha; \\ \frac{dy}{dt} = r\omega_0 \sin \alpha; \\ \frac{d\alpha}{dt} = \frac{2\Delta r \omega_0}{D} \sin \alpha. \end{cases} \quad (9)$$

Виведена система диференціальних рівнянь дозволяє проводити дослідження параметрів руху модифікованих ВКЗ, зокрема знаходити траєкторію їх руху, якщо відомі початкові умови та параметри керування рухом.

До початкових умов відносяться: початкове положення центру мас $M(x_0, y_0)$ ВКЗ у фіксованій системі декартових координат Oxy та кут α , який утворює напрям руху ВКЗ із додатнім напрямом осі Ox .

До параметрів керування рухом відносяться параметри u_0 та v_0 , причому безпосередньо зміна напрямку руху здійснюється зміною числових значень величин ω_0 та $\Delta\gamma$.

Комп'ютерне моделювання

Для проведення комп'ютерного моделювання були використані технічні характеристики багатопільового, підвищеної прохідності автомобіля марки ЗІЛ-131.

Даний транспортний засіб має такі значення параметрів технічних характеристик:

ширина колії $D = 1,8$ м,

довжина бази $W = 4$ м,

висота розміщення центру маси $h_{ci} = 0,75$ м,

мінімальний радіус повороту $R_{\min} = 8,2 \text{ м}$,
 радіус коліс $r = 0,4 \text{ і}$,
 маса $M_{\text{вкз}} = 6000 \text{ кг}$,
 рушійний момент двигуна $M_d = 1000 \text{ кг}$,
 сумарний момент опору рухові $M_o = 500 \text{ кг}$.

Комп'ютерне моделювання динаміки руху модифікованих ВКЗ на основі математичної моделі (9) було виконано в програмному середовищі системи Maple 7.

На рис. 3 відображені графічні результати моделювання траєкторій руху модифікованих ВКЗ при таких початкових умовах:

рух ВКЗ починається з однієї точки К з координатами (0; 2), яка задає початкове положення центру мас ВКЗ;

значення зміни радіусу коліс є фіксованим $\Delta r = 0,2 \text{ м}$ та позитивним для коліс правого борту і від'ємним для коліс лівого борту;

відношення ширини колії до кутової швидкості є величиною сталою $D/\omega_0 = 2 \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$;

моделювання виконувалося для трьох випадків значень кутів $\alpha_1 = 60^\circ, \alpha_2 = 0^\circ, \alpha_3 = -65^\circ$.

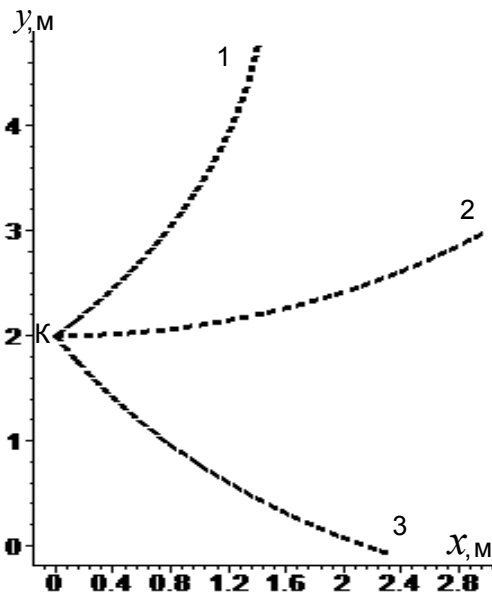


Рис. 3. Графічне зображення траєкторій руху модифікованих ВКЗ при різних початкових кутах напрямку руху та фіксованій зміні радіусу коліс

Наведені на рис. 3 криві мають таку відповідність:

крива 1 відповідає траєкторії руху за відзначених вище початкових умов при значенні кута $\alpha_1 = 60^\circ$;

крива 2 – траєкторія руху при $\alpha_2 = 0^\circ$;

крива 3 – траєкторія руху при $\alpha_3 = -65^\circ$.

На рис. 4 наведені результати моделювання залежності траєкторії руху модифікованого ВКЗ, за раніше встановлених початкових умов при $\alpha = 0^\circ$, від фіксованих значень зміни радіусу коліс.

Крива 1 відповідає траєкторії руху при $\Delta r_1 = 0,2 \text{ м}$ (позитивний приріст для правого борту і від'ємний для лівого), пряма 2 є контрольним результатом моделювання, який підтверджує достовірність моделі, оскільки це є траєкторія руху модифікованого ВКЗ при відсутності змін радіусів коліс $\Delta r_2 = 0 \text{ м}$, крива 3 – траєкторія руху при $\Delta r_3 = 0,3 \text{ м}$ (позитивний приріст для лівого борту і від'ємний для правого).

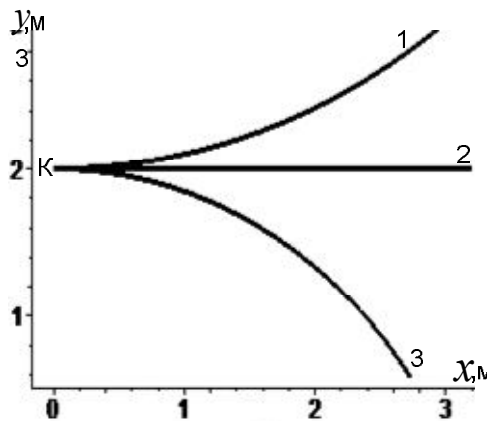


Рис. 4. Графічне зображення траєкторій руху модифікованих ВКЗ при фіксованих значеннях приростів радіусів коліс

Для моделювання руху модифікованих ВКЗ при варіативній зміні радіусів коліс визначимо функціональну залежність останніх в часі у вигляді формули: $\Delta r = 0,2 \sin\left(t \cdot \frac{\pi}{10}\right)$.

Графічна ілюстрація варіацій приростів радіусів коліс модифікованого ВКЗ на проміжку $[0, 10]$ с показана на рис. 5.

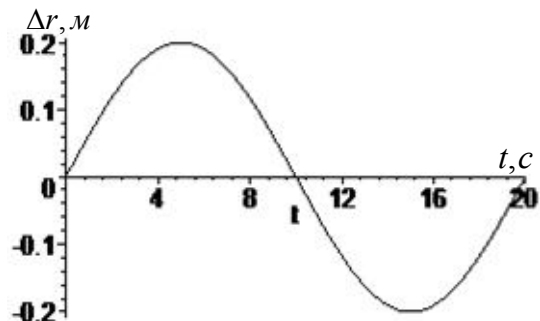


Рис. 5. Графічне зображення варіацій приростів радіусів коліс модифікованих ВКЗ

Графічний результат моделювання траєкторії руху модифікованого ВКЗ за умови вище наведеної варіації приростів радіусів коліс наведений на рис. 6.

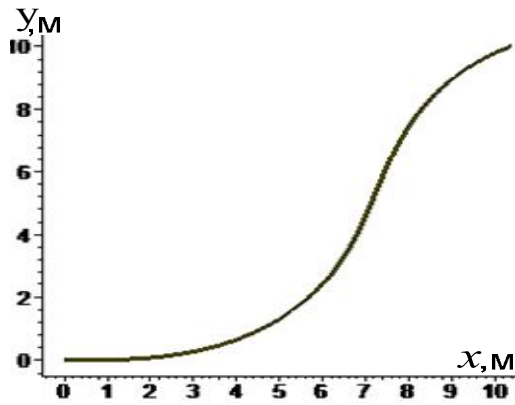


Рис. 6. Графічне зображення траєкторії руху модифікованих ВКЗ при варіативній зміні радіусу коліс

Аналіз отриманих результатів комп'ютерного моделювання показує високу ефективність отриманої математичної моделі, а контрольні розрахунки підтверджують її достовірність.

Висновки

У статті вперше виведена узагальнена математична модель, яка дозволяє здійснювати комп'ютерне моделювання динаміки руху модифікованих ВКЗ за будь-яких початкових умов, в тому числі і при варіативній зміні радіусу коліс.

На основі отриманої математичної моделі та використаних у якості базових технічних характеристик багатоцільового, підвищеної прохідності автомобіля марки ЗІЛ-131 виконано комп'ютерне моделювання траєкторії руху такого транспортного засобу за умови його модифікації.

Список літератури

1. Патент №46775 Україна. МПК⁹ B62D 9/00 Спосіб здійснення поворотів колісного транспортного засобу / Шабатура Ю.В., Фолюшняк О.М.; заявник і патентоуладелец Шабатура Ю.В., Фолюшняк О.М. – №200905878; заявл. 09.06.09; опубл. 11.01.10, Бюл. № 1.

2. Шабатура Ю.В. Теоретичні засади і практичні аспекти застосування нового принципу керування напрямком руху колісного транспортного засобу військового призначення / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залыпка // Військово-технічний збірник. – Львів: Академія сухопутних військ, 2011. – № 2(5). – С 85-92.

3. Вахламов В.К. Автомобили: Конструкция и эксплуатационные свойства / В.К. Вахламов. – М.: Academia, 2009. – 480 с.

4. Григоренко Л.В. Динамика автотранспортных средств. Теория, расчет передающих систем и эксплуатационно-технических качеств / Л.В. Григоренко, В.С. Колесников. – Волгоград: Комитет по печати и информации, 1998. – 544 с.

5. Литвинов А.С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

6. Лобас Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас. АН УССР. Институт механики. – К.: Наукова думка, 1990. – 232 с.

7. Проскурин А.И. Теория автомобиля. Примеры и задачи / А.И. Проскурин. – М.: Феникс, 2006. – 208 с.

8. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин / Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.

9. Доброгорский М.В. Определение работы внешних сил при движении автомобиля по криволинейной траектории / М.В. Доброгорский // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. труд. – Х. – 2005. – Вып. 30. – С. 158-161.

10. Вища математика / М.І. Шкіль, Т.В. Колесник, В.М. Котлова. – К.: Вища школа, 1985. – 391 с.

Надійшла до редколегії 17.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОЕННЫХ КОЛЕСНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ВАРИАТИВНОМ ИЗМЕНЕНИИ РАДИУСА КОЛЕС

Ю.В. Шабатура, В.Д. Залыпка

Получены математические модели динамики движения модифицированных военных колесных средств при вариативной смене радиуса колес и проведено их компьютерное моделирование.

Ключевые слова: военные колесные средства, траектория движения, угол направления движения, изменение радиуса колес.

MATHEMATICAL MODELS OF DYNAMICS MOTION OF THE MODIFIED SOLDIERY WHEELED FACILITIES ARE AT VARIANT CHANGE OF RADIUS OF WHEELS

U.W. Shabatura, W.D. Zalyпка

Got mathematical models of dynamics of motion of the modified soldiery wheeled facilities at the variant change of radius of wheels and they are executed computer design.

Keywords: soldiery wheeled facilities, trajectory of motion, corner straight to motion, change of radius of wheels.