

**Rationale for indicators of effectiveness of operational support command public maps and photographs of the area in defensive operations**

O. Chornoknyzhnyy, V. Korolev, R. Savchuk, Y. Zaijets

*The need for troops in permanent and objective definition and receiving topogeodesic output data for better planning and warfare, use of weapons and military equipment, increasing demands for speed, accuracy and reliability of baseline topogeodetic information, which are caused by high dynamics of modern operations, development precision strike systems and systems change their tactical and technical characteristics and increased combat capabilities, the introduction of the automated systems of control of troops and weapons, the need to respond quickly to changing circumstances determine the need to improve the existing system of special maps and photographs of the area of combined association.*

*In the article the definition and justification of the performance system of special maps and photographs of the area Operational Command of defense operations. The main components of the generalized performance indicator system of special maps and photographs of the area given the tasks entrusted to it, defined parameters: efficiency, accuracy and reliability.*

*The notes will be the basis for further research on improving the system of special maps and photographs of the area Operational Command.*

**Key words:** *Surveying software, special maps and photographs of the terrain, efficiency, accuracy and reliability.*

---

УДК 629.113.001.1(075)

Ю.В. Шабатура, В.Д. Залипка

*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТІЙКОСТІ  
МОДИФІКОВАНИХ КОЛІСНИХ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*Отримані математичні моделі зміни поздовжньої стійкості, які дають можливість з'ясувати нелінійний характер та визначити математично обґрунтовані граничні умови застосування розробленого в попередніх роботах способу збільшення поздовжньої стійкості модифікованих колісних засобів за рахунок зміни радіуса їхніх коліс.*

**Ключові слова:** *колісні засоби військового призначення, поздовжня стійкість, зміна радіуса коліс.*

**Постановка проблеми та аналіз останніх  
досліджень і публікацій**

Сухопутні війська Збройних Сил України (СВ ЗСУ) забезпечені озброєнням та технікою різних типів та призначення. Визначальну роль в їх здатності оперативно вирішувати поставлені завдання відіграють колісні засоби військового призначення (КЗВП). На відміну від колісних засобів цивільного застосування особливістю КЗВП є те, що вони призначені для переміщення особового складу, озброєння та вантажів по різноманітних типах доріг та місцевості як в мирний час, так і в умовах ведення бойових дій. Слід зазначити, що більшість зразків колісної техніки СВ ЗСУ – радянського виробництва, які вже вичерпали свій ресурс, та експлуатаційні властивості яких не задовольняють вимогам ведення сучасного бою [1]. У зв'язку з цим особливого значення набувають дослідження, пов'язані

з вирішенням задач покращення експлуатаційних властивостей, таких як стійкість, керованість, прохідність, плавність ходу, паливна економічність, тягово-швидкісні та гальмові властивості. Поряд з цим варто зауважити, що на етапі проектування і дослідження нових зразків військових колісних машин перед фахівцями даної галузі виникають протиріччя, які пов'язані з експлуатаційними властивостями, притаманними існуючим колісним засобам. Так, наприклад, підвищення прохідності вимагає збільшення радіуса коліс, а відповідно, і збільшення дорожнього просвіту. При цьому збільшення стійкості потребує зниження висоти розташування центра мас, а вимога збільшення вогневої ефективності засобів ураження та можливості раннього виявлення ворожих цілей вимагає якомога вищого їх розташування [2].

Окрім того, з метою підняття рівня безпеки та збереження життя і здоров'я військовослужбовців у

світовій практиці набуває розповсюдження створення на базі колісних засобів різноманітних роботизованих систем, які можуть виконувати завдання за допомогою дистанційного керування або самостійно. Для підвищення їх маневреності, а також при розробці короткобазових колісних машин, з'являються конструкції, в яких колісна база зменшується, а колія залишається незмінною [3]. Таким чином постає важлива і актуальна задача покращення не тільки поперечної, а й поздовжньої стійкості, в першу чергу, КЗВП з короткою базою, в тому числі і колісних шасі роботизованих систем, обладнання яких є рухомим, що призводить до зміщення центра мас під час руху усієї системи.

У попередніх роботах [6-11] були розроблені теоретичні та практичні аспекти щодо розробки КЗВП з новим методом керування напрямком їх руху, який полягає у застосуванні керованої зміни радіусів їх коліс, а також досліджені основні конструкційні властивості, особливості кінематики та динаміки їх руху. Проведено дослідження, результати яких показали можливість покращення прохідності КЗВП відносно до їх традиційних аналогів, які не використовують коліс змінного радіуса. Здійснено оцінювання критичних умов руху щодо втрати поперечної та поздовжньої стійкості КЗВП, та виконаний їх порівняльний аналіз відносно до традиційних.

В даній статті авторами розроблені математичні моделі, які дають можливість оцінити поздовжню стійкість КЗВП з врахуванням можливості застосування керованої зміни радіусів їх коліс. На сьогоднішній день колеса із змінним радіусом, так звані колеса-трансформери, використовуються для підвищення прохідності. Відомими є розробки симбіозу авто- й моторного човна Amphibious Hybrid та системи DAWS (Dynamically Augmenting Wheel System – динамічно посиленна система колеса) [4,5].

### Мета статті

Враховуючи те, що в попередніх дослідженнях були отримані математичні моделі для оцінювання поздовжньої стійкості короткобазових колісних машин координатним методом, в якому не враховано повною мірою умови жорсткості конструкції в межах силового трикутника, який пов'язує центр мас колісного засобу з центрами осей його коліс, при цьому відстань від зони контакту коліс з опорною поверхнею до центрів їх осей може варіюватися, метою даної роботи є дослідження впливу зміни радіуса коліс на поздовжню стійкість КЗВП за різних умов руху та розроблення відповідних математичних моделей з врахуванням вищевказаних особливостей.

### Виклад основного матеріалу

Введемо наступні позначення: нехай радіус колеса  $r$ , його максимальна зміна  $\pm d$ , база  $b$ , висота центра мас  $h$ , положення центра мас відносно осі першого колеса  $a$ . Також приймемо колеса ідеальними кругами, що не деформуються і дотикаються поверхні в одній точці.

Нехай  $A, B$  – центри переднього та заднього коліс,  $A_1, B_1$  – точки дотику цих коліс до опорної поверхні,  $C$  – точка, в якій знаходиться центр мас КЗВП із колесами змінного радіуса, який в подальшому називатимемо модифікованим (МКЗВП). Тоді  $AA_1 = BB_1 = r$ ;  $A_1B_1 = b$ ;  $A_1H = a$ ;  $CH = h$  (рис.1).

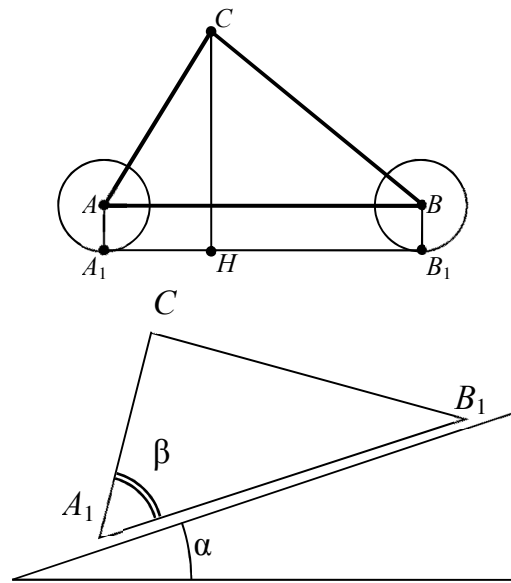


Рис. 1. Схематичне зображення трикуткової моделі КЗВП

У випадку рівномірного спуску по схилу  $\alpha$  умова стійкості має вигляд

$$\alpha + \beta \leq \frac{\pi}{2} \rightarrow \alpha + \arctg\left(\frac{h}{a}\right) \leq \frac{\pi}{2} \rightarrow h \leq a \operatorname{ctg} \alpha \quad (1)$$

У випадку рівномірного підйому по схилу  $\alpha$  умова стійкості має вигляд

$$\alpha + \arctg\left(\frac{h}{(b-a)}\right) \leq \frac{\pi}{2} \rightarrow h \leq (b-a) \operatorname{ctg} \alpha \quad (2)$$

Розглянемо МКЗВП. При зміні радіуса коліс точки контакту своє положення змінюватимуть незначно, основний вплив на стійкість пов'язаний із зміщенням центра мас. Приймаємо, що при зміні радіуса коліс трикутник  $ABC$  не змінюється, а точки  $A_1$  та  $B_1$  змінюють своє положення так, що

$$AA_1 = r + d \geq r \geq r - d = BB_1,$$

$$\text{або } AA_1 = r - d \leq r \leq r + d = BB_1. \quad (3)$$

Відстань від центра переднього колеса до точки контакту цього колеса із опорною поверхнею зростає, а відстань від центра заднього колеса до точки контакту зменшується.

Запишемо вирази для незмінних елементів форми МКЗВП

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{a^2 + (h-r)^2}, \\ CB &= \sqrt{(b-a)^2 + (h-r)^2}, \quad AB = b. \end{aligned} \quad (4)$$

Необхідно знайти нове положення  $a'$  точки  $H$ , у яку проєктується центр мас МКЗВП, і обчислимо зміщення центра мас

$$\Delta l = a' - a. \quad (5)$$

Для цього скористаємось зображенням на рис. 2. Як видно на рисунку, з кута  $ABA'$  отримуємо

$$A_1B_1 \equiv A'B = \sqrt{b^2 - 4\Delta^2}, \quad (6)$$

тобто при зміні радіусів коліс база дещо зменшується.

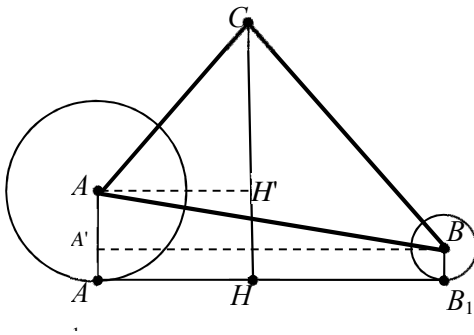


Рис. 2. Схематичне зображення тричоткової моделі МКЗВП

Кут  $BAC$  на рис. 2 дорівнює куту  $\beta$  на рис. 1, а тому

$$\operatorname{tg} BAC = \frac{h-r}{a}. \quad (7)$$

Проведемо  $AH' \parallel A'B$ , тоді

$$\angle BAH' = \angle ABA' = \operatorname{arctg} \frac{2\Delta}{b}.$$

Із трикутника  $ACH'$  маємо

$$\begin{aligned} a' &\equiv AH' = AC \cos CAH' = \\ &= \sqrt{a^2 + (h-r)^2} \cos(BAC - BAH') = \\ &= \sqrt{a^2 + (h-r)^2} \cos\left(\operatorname{arctg} \frac{h-r}{a} - \operatorname{arctg} \frac{2\Delta}{b}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Таким чином, враховуючи вираз (5), запишемо

$$\Delta l = \sqrt{a^2 + (h-r)^2} \cos\left(\operatorname{arctg} \frac{h-r}{a} - \operatorname{arctg} \frac{2\Delta}{b}\right) - a. \quad (9)$$

Враховуючи, що

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg} x - \operatorname{arctg} y &= \operatorname{arctg} \frac{x-y}{1+xy}, \\ \cos(\operatorname{arctg} x) &= \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}, \end{aligned} \quad (10)$$

співвідношення (9) можна записати у вигляді:

$$\Delta l = \frac{ab + 2\Delta(h-r)}{\sqrt{b^2 + 4\Delta^2}} - a. \quad (11)$$

Зазначимо також, що з рис. 2 маємо

$$\begin{aligned} CH &= r + \Delta + CH' = r + \Delta + AC \sin CAH' = \\ &= r + \Delta + \frac{b(h-r) - 2\Delta a}{\sqrt{b^2 + 4\Delta^2}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Отже, з отриманого видно, що при збільшенні радіуса переднього колеса із  $r$  до  $r + \Delta$  і зменшенні радіуса заднього колеса із  $r$  до  $r - \Delta$ :

- база зменшиться із  $b$  до  $\sqrt{b^2 - 4\Delta^2}$ ,
- положення центра мас збільшиться із  $h$  до

$$r + \Delta + \frac{b(h-r) - 2\Delta a}{\sqrt{b^2 + 4\Delta^2}},$$

- відстань від точки контакту з опорною поверхнею переднього колеса до проєкції центра мас зміниться від  $a$  до

$$\frac{ab + 2\Delta(h-r)}{\sqrt{b^2 + 4\Delta^2}}.$$

У випадку рівномірного спуску по схилу  $\alpha$  умова стійкості, що мала вигляд (1), набуде наступного вигляду

$$\begin{aligned} h &\leq a \operatorname{ctg} \alpha \Rightarrow r + \Delta + \\ &+ \frac{b(h-r) - 2\Delta a}{\sqrt{b^2 + 4\Delta^2}} \leq \frac{ab + 2\Delta(h-r)}{\sqrt{b^2 + 4\Delta^2}} \operatorname{ctg} \alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Отже, традиційні КЗВП можуть спускатись без втрати поздовжньої стійкості на схилі до

$$\alpha_{kr} = \operatorname{arctg} \frac{a}{h},$$

а МКЗВП із зміненими на  $\Delta$  радіусами коліс може спускатись по схилу до

$$\alpha_{kr} = \operatorname{arctg} \frac{ab + 2\Delta(h-r)}{(r + \Delta)\sqrt{b^2 + 4\Delta^2} + b(h-r) - 2\Delta a}. \quad (14)$$

Для кращого уявлення проведемо чисельний аналіз: прийемо, що  $b = 6$  м,  $r = 1$  м,  $h = 1.5$  м,  $d_{max} = 0.5$  м. На рис. 3 показано  $\alpha_{kr}$  для традиційних КЗВП і МКЗВП при  $a = 2.8$  м,  $3.2$  м відповідно.

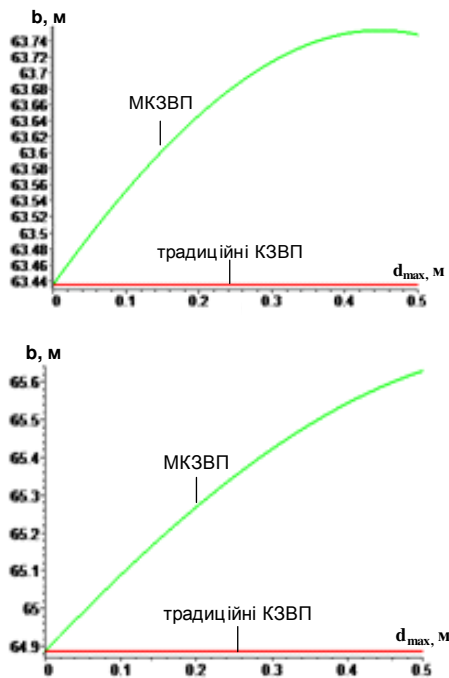


Рис. 3. Графічне представлення чисельного аналізу кута нахилу для традиційних і модифікованих КЗВП

## Висновки

Таким чином, отримані математичні моделі дали можливість з'ясувати нелінійний характер зміни поздовжньої стійкості та визначити нові, математично обґрунтовані граничні умови застосування розробленого в попередніх роботах способу збільшення поздовжньої стійкості модифікованих короткобазових колісних засобів.

Перспективою подальших досліджень є удосконалення математичного апарату та створення відповідних колісних рушіїв змінного радіуса з метою їх застосування для покращення поздовжньої стійкості колісних військових засобів, в першу чергу, коротко базових..

## Список літератури

1. Армієські автомобілі. Основи руху, будова, характеристики / [Б.Д. Білоус, П.П. Ткачук, Я.Ф. Андрусик та ін.]; під ред. Б.Д. Білоуса. – Львів: НУ „Львівська політехніка”, 2007. – 536 с.

2. Волков В.П. Теорія руху автомобіля: підручник / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми: Університетська книга, 2010. – 320 с.

3. Збірник військово-наукової інформації (військово-технічний аспект): Науково-інформаційне видання. – Львів: АСВ, 2013, – № 6. – 132 с.

4. Amphibious Hybrid: автомобиль будущего с колесами-пропеллерами [Електронний ресурс] / Герасименко А.С. // 3D News. – 2009 – Режим доступу до журн.: <http://www.3dnews.ru/577953>.

5. A new take on carving: the Dynamically Augmenting Wheel System [Електронний ресурс] / David Greig // Gizmag. – 2009. – Режим доступу до журн.: <http://www.gizmag.com/dynamically-augmenting-wheel-system/11230/>.

6. Шабатура Ю.В. Теоретичні засади і практичні аспекти застосування нового принципу керування напрямком руху колісного транспортного засобу військового призначення / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залипка // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ ім. гетьмана П.Сагайдачного. – 2011. – № 2(5). – С. 85-92.

7. Залипка В.Д. Математичні моделі динаміки руху модифікованих військових колісних засобів / В.Д. Залипка // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ ім. гетьмана П.Сагайдачного. – 2013. – № 2(9). – С.23-30

8. Шабатура Ю.В. Математичні моделі оцінювання динамічних властивостей системи управління напрямком руху модифікованих військових колісних засобів / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залипка // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – № 23(17). – С. 336-343.

9. Шабатура Ю.В. Математичні моделі динаміки руху модифікованих військових колісних засобів при варіативній зміні радіуса коліс / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залипка // Системи озброєння та військова техніка. – 2013. – № 3(35). – С. 41-44.

10. Шабатура Ю.В. Прохідність модифікованих військових колісних засобів / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залипка // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – № 23(4). – С. 130-139.

11. Залипка В.Д. Спосіб збільшення поздовжньої стійкості короткобазових колісних машин та його математичний аналіз координатним методом / В.Д. Залипка // Системи озброєння та військова техніка. – 2015. – № 3(43). – С. 81-84.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Б.І. Сокіл, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

## Математические модели оценки продольной устойчивости модифицированных колесных средств военного назначения

Ю.В. Шабатура, В.Д. Залипка

Получены математические модели изменения продольной устойчивости, которые дают возможность выявить нелинейный характер и определить математически обоснованные граничные условия применения разработанного в предыдущих работах способа увеличения продольной устойчивости модифицированных колесных средств за счет изменения радиуса их колес.

**Ключевые слова:** колесные средства военного назначения, продольная устойчивость, изменение радиуса колес.

**Mathematical model assessment longitudinal stability wheel modified military means**

U. Shabatura, W. Zalyпка

*The mathematical model changes longitudinal stability, which enable to clarify and define nonlinear boundary conditions mathematically substantiated application developed in previous studies ways to increase longitudinal stability of wheeled vehicles modified by changing the radius of the wheels.*

**Key words:** vehicles for military use, longitudinal stability, changes in the radius of wheels.

УДК 623.522.6

Ю.В. Шабатура, А.С. Міщенко

*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів***ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАРЯДУ АРТИЛЕРІЙСЬКОГО БОЄПРИПАСУ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ**

*У статті розглянута проблема вимірювання температури зарядів артилерійських боєприпасів. Визначені математичні залежності зміни температури порохового заряду в середовищі з постійною температурою на основі теорії регулярного теплового режиму.*

**Ключові слова:** артилерія, балістична підготовка, температура заряду, вимірювання температури, регулярний тепловий режим.

**Вступ**

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день великого значення набуває точність ураження цілей вогневыми підрозділами наземної самохідної та реактивної артилерії, зменшення витрат часу на підготовку підрозділів до виконання бойового завдання. На точність ураження серед інших параметрів впливає правильність та своєчасність внесення балістичних поправок, зокрема поправки на температуру зарядів боєприпасів [1]. Аналіз наявних даних [2] показує, що значення температур металевих і реактивних зарядів у пострілах, виміряних штатними засобами (за допомогою ТБ-15 або за температурою оточуючого повітря в реактивній артилерії), може значно відрізнятись від реальної температури. Крім того, при вимірюванні температури штатними засобами виникають похибки внаслідок інструментальних помилок заряду, помилок зняття відліку, зміни температури навколишнього середовища, помилок за рахунок припущення про рівність балістичної температури заряду, фіксованої при рівномірному температурному полі, середньооб'ємної температури, що отримується при нерівномірному полі заряду, та інших факторів. При врахуванні цих помилок сумарна середина похибка вимірювання температури зарядів існуючими методами складає 2-3 °С для металевих зарядів та 4-5 °С – для реактивного.

Така розбіжність у вимірюванні температури заряду призводить до значних помилок при визначенні вихідних даних для стрільби та не відповідає вимогам повної балістичної підготовки. Тому проблема якомога точнішого визначення температури заряду є важливою і актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для визначення температури заряду артилерійського боєприпасу в будь-який момент часу, при нестационарному режимі, необхідно знайти залежність температури заряду від температури навколишнього середовища. Задача знаходження функції залежності температури заряду  $T_{зар}$  від часу  $\tau$  для боєприпасу, який охолоджується (нагрівається) в середовищі, може бути вирішена за допомогою поєднання гіпотези Фур'є про пропорційність між питомим тепловим потоком та градієнтом температури, наслідком якої є рівняння теплопровідності Фур'є, яке для декартових координат може бути записане у вигляді (1), та закону Ньютона-Ріхмана (2).

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

де  $\tau$  – час;

$\alpha$  – коефіцієнт теплообміну між тілом та середовищем.