

УДК 629.113.001.1(075)

В.Д. Залипка

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

СПОСІБ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТІЙКОСТІ КОРОТКОБАЗОВИХ КОЛІСНИХ МАШИН ТА ЙОГО МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КООРДИНАТНИМ МЕТОДОМ

Запропоновано спосіб збільшення поздовжньої стійкості короткобазових колісних машин за рахунок застосування керованої зміни радіусів їх коліс, проведений його математичний аналіз координатним методом та виконано комп'ютерне моделювання. Використано триточкову модель в якій за ключові точки взято центр ваги колісного засобу та підвісні точки платформи, приведені до середньої площини машини. Отримані аналітичні умови поздовжньої стійкості за різних умов руху.

Ключові слова: короткобазові колісні машини, поздовжня стійкість, зміна радіусу коліс.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз технічних досягнень вітчизняних і провідних зарубіжних компаній і корпорацій, які займаються розробкою і виготовленням технічних засобів для задоволення потреб у переміщенні по суші військової техніки та озброєння [1] показав, що на даний час за такими показниками як: швидкість переміщення та паливна економічність військові колісні машини не мають достойної конкуренції. Саме тому розробка нових конструкцій таких машин і вдосконалення існуючих є актуальною проблемою сьогодення.

Разом з тим варто зауважити, що в процесі розробки і дослідження військових колісних машин вченим доводиться постійно шукати компроміси в об'єктивних протиріччях, які пов'язані з експлуатаційними властивостями притаманними традиційним колісним шасі. Зокрема, вимога високої прохідності вимагає збільшувати радіус коліс і відповідно збільшувати дорожній просвіт. При цьому вимога високої стійкості потребує зниження висоти розташування центру мас, а вимога збільшення вогневої ефективності засобів ураження та можливості раннього виявлення ворожих цілей вимагає якомога вищого розташування бойового модуля з засобами ураження, прицілювання та розвідки. Окрім того для підвищення маневреності, а також при розробці короткобазових колісних машин (ККМ) все частіше з'являються конструкції у яких колісна база за розмірами наближається до колії і тому постає важлива і актуальна задача дослідження не тільки поперечної, а й поздовжньої стійкості таких машин.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. У попередніх роботах [2-6] були розроблені принципи створення колісних машин з новим методом керування напрямком їх руху, який ґрунтується на зміні радіусів їх коліс, досліджені особливості кінематики та

динаміки їх руху і основні конструкційні властивості. Проведено дослідження і сформовано основні теоретичні положення та практичні рішення, які дозволяють підвищити прохідність модифікованих колісних машин по відношенню до їх традиційних аналогів. Здійснено оцінювання критичних умов руху щодо втрати поперечної стійкості модифікованих колісних машин та виконаний їх порівняльний аналіз по відношенню до традиційних. Разом з тим залишилося недослідженим важливе для науки і цінне для практики питання щодо втрати поздовжньої стійкості.

Мета статті. Враховуючи те, що в попередніх дослідженнях були отримані математичні моделі для визначення граничних параметрів руху щодо поперечного перекидання колісних машин, які використовують новий метод зміни напрямку руху, тому метою даної роботи є дослідження впливу зміни радіусу коліс на поздовжню стійкість ККМ за різних умов руху та розроблення відповідних математичних моделей.

Основний матеріал

Стійкість ККМ – це її здатність рухатися без перекидання і бічного заносу. Розрізняють поздовжню, поперечну і бічну або бокову стійкість. Загалом під стійкістю колісної машини розуміють її властивість витримувати заданий напрямок руху за будь-яких дорожніх умов, протистояти заносу, ковзанню та перекиданню. Стійкість залежить від конструктивних параметрів і вміння оператора правильно керувати колісною машиною під час руху. Поздовжня стійкість – це здатність колісної машини зберігати стійкість в поздовжньому напрямку (вздовж дороги) при подоланні підйомів і русі на спусках. Чим коротша база колісної машини (відстань між осями), менше тягове зусилля на ведучих колесах, крутіший ухил дороги, тим менша поздовжня стійкість. При русі на підйомі навантаження на задні колеса збільшується, а на передні зменшу-

ється. Зменшення тиску передніх коліс на дорогу також зменшує поздовжню стійкість [7].

Загалом втрата поздовжньої стійкості, а саме перекидання через передню або задню вісь, порівняно рідкісне явище і може відбуватися у виняткових випадках – при дуже крутому спуску в гірських умовах, або при різкому підйомі із зміщенням вантажу на задню вісь, проте із зменшенням бази колісної машини ймовірність такого явища збільшується, тому необхідність визначення поздовжньої стійкості зростає [8].

Під час руху по прямій поздовжня і поперечна стійкість ККМ забезпечується за умови, якщо лінія дії сили ваги не виходить за межі контуру обмеженого точками опори. Якщо лінія дії сили ваги перетинається з поверхнею дороги за межами площі, обмеженої точками опори коліс, то ККМ може втратити стійкість і перекинутися [9]. Оскільки нас цікавить передусім поздовжня стійкість ККМ, тому обмежимося триточковою моделлю першого модельного наближення, основні елементи якої містяться у площині поздовжнього перерізу ККМ. Також накладається обмеження, яке полягає в тому, що центр ваги залишається незмінним, а змінами точок осі абсцис А і В які є невеликими при не дуже значних кутах повороту платформи можна знехтувати. Графічне відображення такої моделі показано на рис. 1. Нехай А і В – точки опори передніх та задніх коліс, С – центр ваги ККМ. База ККМ b дорівнює довжині відрізка АВ, положення центру ваги може бути описане через відстані АС та ВС, або через висоту $h = |CH|$ трикутника, проведену із вершини С, та положення її проєкції Н на стороні АВ. Відстань АН позначимо через a . Стрілкою відзначено напрям руху (рис. 1, а).

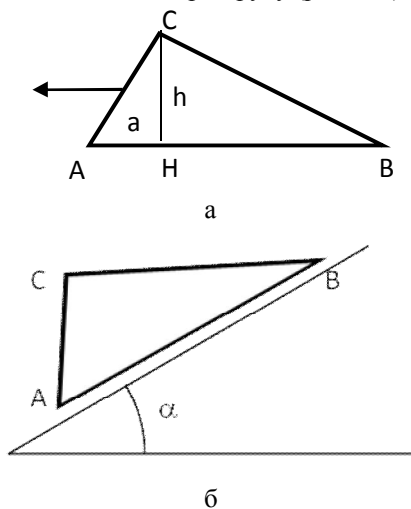


Рис. 1. Триточкова модель ККМ

Критична ситуація із стійкістю ККМ може виникнути під час різких маневрів, спуску, підйому та їх поєднання. Розглянемо по чергово різні випадки, для кожного із них визначимо умову стійкості, або її втрати – нестійкості, та порівняємо запас стійкості у даних

ситуаціях модифікованої та традиційної ККМ. Для спрощення аналізу введемо обмеження. Прийmemo, що кути бокових ухилів поверхні на ширині колі по якій рухається ККМ на багато менші за кути підйому або спуску, тому ними можна нехтувати. Отже стійкість ККМ можна аналізувати за поведінкою її моделі у вигляді даного поздовжнього перерізу.

Проведемо відповідний аналіз для ККМ традиційної конструкції. Нехай ККМ рівномірно спускається по дорозі, що характеризується кутом ухилу $\alpha > 0$, як це показано на рис. 1, б. За рівномірного руху, як і в стаціонарному випадку, умова збереження стійкості полягатиме у тому, що проєкція точки С на горизонтальну площину повинна знаходитись між проєкціями точок А і В на цю площину. Критичне положення настане, якщо сума кутів α і $\angle CAB$ дорівнюватиме або перевищить 90° . Це означатиме, що ККМ, положення центра ваги якої характеризується параметрами (a, h) зможе стійко рухатись на схилах із кутом ухилу, який не перевищує значення, що обчислюється за формулою:

$$\alpha_{kr} = 90^\circ - \text{arctg}(h/a). \quad (1)$$

З отриманого рівняння випливає очевидне співвідношення для обчислення геометричних параметрів ККМ

$$h = a \text{ctg} \alpha_{kr} \text{ або } a = h/\text{ctg} \alpha_{kr}$$

Лінії на рис.2, а показують граничне положення геометричних параметрів ККМ, що може спускатись по схилі із кутом ухилу 10, 20 та 30 градусів. Якщо точка із координатами (a, h) знаходиться вище прямої, то положення ККМ на схилі із відповідним кутом нестійке.

Розглянемо тепер особливості руху модифікованих ККМ в яких застосовується зміна радіусів коліс. Нехай допустима зміна радіусу коліс становить r . Цілком очевидно, що для підвищення стійкості при спуску слід збільшити радіус передніх коліс та зменшити радіуси задніх. При цьому передня точка опори ККМ зміститься від точки А до точки A_1 , а задня – від В до B_1 , як це показано на рис. 3.

Нова конфігурація ККМ буде описуватись характеристичним трикутником A_1B_1C . Знайдемо його висоту h_1 та проєкцію A_1C на A_1B_1 , яку позначимо a_1 . Для цього використаємо координатний метод. Розташуємо початок координат у точці Н, вісь абсцис сумістимо із НВ, а вісь ординат – із НС. Тоді координати точок будуть:

$$A(-a;0), B(b-a;0), C(0;h). \quad (2)$$

Координати вершин модифікованого характеристичного трикутника будуть

$$A_1(-a;r), B_1(b-a;r), C(0;h). \quad (3)$$

Рівняння прямої, що містить відрізок A_1B_1 є таким:

$$(y+r)/(r+r) = (x+a)/(b-a+a) \sim \\ \sim 2rx - by - r(b-2a) = 0. \quad (4)$$

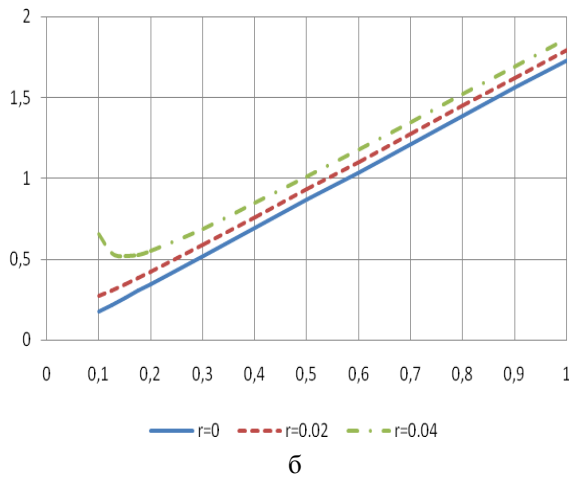
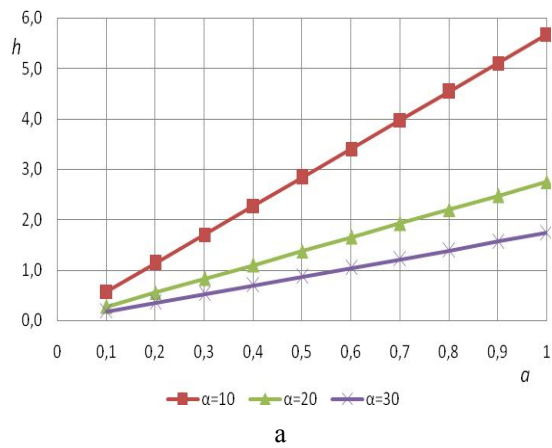


Рис. 2. Области поздовжньої стійкості традиційної та модифікованої ККМ

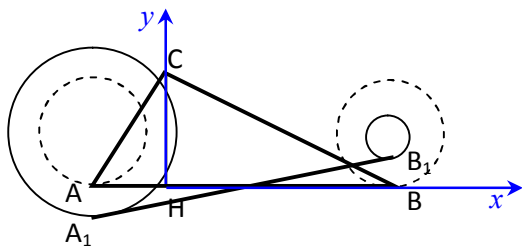


Рис. 3. Модель модифікованої ККМ

Висота модифікованого трикутника є відстанню від точки С до прямої A_1B_1 , а тому дорівнює

$$h_1 = \frac{|2r \cdot 0 - b \cdot h - r(b - 2a)|}{\sqrt{(2r)^2 + b^2}} = \frac{|b(h+r) - 2ra|}{\sqrt{4r^2 + b^2}} \quad (5)$$

Відрізок $A_1H_1 = a_1$ знайдемо як проекцію вектора A_1C на вектор A_1B_1

$$A_1C = (a; h+r), \quad A_1B_1 = (b; r), \quad (6)$$

$$|A_1H_1| = (A_1C_1; A_1B_1) / |A_1B_1| = (ab + 2hr + 2r^2) / \sqrt{4r^2 + b^2} \quad (7)$$

Умова стійкості характеристичного трикутника A_1B_1C аналогічна до умови стійкості вихідного характеристичного трикутника, а тому аналогом співвідношення (1) є

$$\alpha_{kr} = 90^\circ - \arctg \left(\frac{|b(h+r) - 2ra| / \sqrt{4r^2 + b^2}}{(ab + 2hr + 2r^2) / \sqrt{4r^2 + b^2}} \right) = 90^\circ - \arctg \left(\frac{|b(h+r) - 2ra|}{ab + 2hr + 2r^2} \right) \quad (8)$$

звідки маємо

$$\alpha_{kr} = 90^\circ - \arctg \left(\frac{h+r(1-2a/b)}{a+2hr/b+2r^2/b} \right), \quad (9)$$

Розв'язавши дане співвідношення відносно h отримаємо

$$h = \frac{(2a-b)r + (ab+2r^2) / \operatorname{tg} \alpha_{kr}}{b - 2r / \operatorname{tg} \alpha_{kr}}, \quad (10)$$

Здійснимо аналітичну перевірку правильності отриманої моделі. При $r = 0$ отримаємо попередню формулу $h = a \operatorname{ctg} \alpha_{kr}$. На рис.2б зображено залежність (10) у випадку, коли $b = 2a$, $\alpha_{kr} = 30^\circ$, $r = 0, 0.02, 0.04$ м. Нижня лінія відповідає традиційній ККМ, наступні дві – модифікованій ККМ. У кожному випадку спостерігається зростання стійкості ККМ пропорційне до величини r . Найбільш суттєве зростання можна відмітити при мінімальному значенні параметра $a=0,1$, коли r становить відповідно 20 і 40% від величини a . Так, якщо зміна радіуса коліс становить 40% від a і 20% від бази, центр ваги модифікованої ККМ при тій же стійкості може бути піднятий вгору у 3,78 рази вище ніж це допустимо для традиційних ККМ (крайні ліві точки графіків). Якщо ж зміна радіуса коліс становить 2% від бази (крайні праві точки графіків), то центр ваги без втрати стійкості може бути піднятий лише на 7,6%.

Розглянемо поздовжню стійкість модифікованої ККМ при гальмуванні. Нехай гальмування відбувається при русі по горизонтальній поверхні, прискорення гальмування дорівнює ε . Тоді до центру ваги ККМ прикладено рівнодійну двох сил: сили інерції та сили тяжіння, як це показано на рис. 4, а умова стійкості має вигляд

$$\frac{\varepsilon}{g} \leq \frac{a}{h} \quad (11)$$

Звідси знаходимо такі вирази для граничного прискорення та положення центру ваги:

$$\varepsilon_{kr} = \frac{ag}{h}, \quad h = \frac{ag}{\varepsilon_{kr}} \quad (12)$$

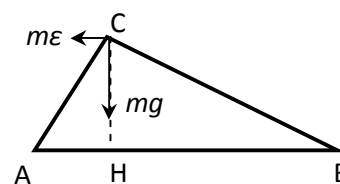


Рис. 4. Сили що прикладені до ККМ під час гальмування

Нехай тепер при гальмуванні ККЗ застосуємо зміну радіуса коліс на r . У цьому випадку можна скористатись формулами (5) та (7) і записати такий вираз для граничного прискорення

$$\varepsilon_{kr}^m = \frac{a_1 g}{h_1} = \frac{ab + 2hr + 2r^2}{b(h+r) - 2ra} g. \quad (13)$$

Для порівняння ефекту використання модифікованої ККМ поряд із традиційною ККМ знайдемо відношення

$$\varepsilon_{kr}^m / \varepsilon_{kr} = \frac{ab + 2hr + 2r^2}{b(h+r) - 2ra} \frac{h}{a}. \quad (14)$$

Якщо прийняти, що відношення параметру a до бази є сталим і становить 0,5, то дане співвідношення спрощується до вигляду

$$\varepsilon_{kr}^m / \varepsilon_{kr} = 1 + \frac{hr + r^2}{a^2}. \quad (15)$$

Бачимо, що із зростанням зміни радіуса зростає і величина граничного прискорення, до досягнення якого зберігається поздовжня стійкість модифікованої ККМ. Результати розрахунку наведено у табл. 1.

Отже, якщо висота положення центру ваги співпадає із половиною бази, то при зміні радіуса коліс на певний відсоток від бази маємо виграш у прискоренні. Цей виграш у відсотковому відношенні буде тим більший, чим вище розташований центр ваги і чим більша зміна радіуса колеса.

Таблиця 1

Вплив зміни радіусу коліс на величину граничного прискорення

h/a	r/a						
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
0.6	3.2%	7%	11%	16%	21%	27%	33%
0.8	4.2%	9%	14%	20%	26%	33%	40%
1	5.2%	11%	17%	24%	31%	39%	47%
1.2	6.2%	13%	20%	28%	36%	45%	54%

Подальші перспективи досліджень полягають в оцінюванні впливу керованої зміни радіусів коліс на експлуатаційні властивості колісних засобів під час їх руху та створенні відповідних математичних моделей, які б дозволили описати процеси, що відбуватимуться.

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОРОТКОБАЗНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КООРДИНАТНЫМ МЕТОДОМ

В.Д. Залыпка

Предложен способ увеличения продольной устойчивости короткобазных колесных машин за счет применения управляемого изменения радиусов их колес, проведенный его математический анализ координатным методом и выполнено компьютерное моделирование.

Ключевые слова: короткобазные колесные машины, продольная устойчивость, изменение радиуса колес.

WAY TO INCREASE LONGITUDINAL STABILITY OF WHEELED VEHICLES WITH SHORT WHEELBASE MATHEMATICS AND COORDINATE ANALYSIS METHOD

W.D. Zalyпка

A way to increase longitudinal stability of wheeled vehicles with a short base through the use of managed change the radii of the wheels, held his mathematical analysis coordinate method and the computer modeling

Keywords: wheeled machines with short base, longitudinal stability, changes in the radius of wheels.

Висновки

У статті вперше запропоновано спосіб підвищення поздовжньої стійкості короткобазових колісних машин, який ґрунтується на використанні керованої зміни радіусів їх коліс. Проведено математичний аналіз даного способу координатним методом та розроблено математичні моделі на підставі яких проведено комп'ютерне моделювання, яке ілюструє перевагу колісних машин із запропонованим способом над традиційними.

Список літератури

1. Збірник воєнно-наукової інформації (військово-технічний аспект). – Львів: АСВ, 2013, – № 6. – 132 с.
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 : АСВ, 2011. – № 2(5). – С. 85-92.
3. Залыпка В.Д. Математичні моделі динаміки руху модифікованих військових колісних засобів / В.Д. Залыпка // Військово-технічний збірник. – Львів : АСВ, 2013. – № 2(9). – С.23-30.
4. Шабатура Ю.В. Математичні моделі оцінювання динамічних властивостей системи управління напрямком руху модифікованих військових колісних засобів / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залыпка // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – № 23 (17). – С. 336-343.
5. Шабатура Ю.В. Математичні моделі динаміки руху модифікованих військових колісних засобів при варіативній зміні радіусу коліс / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залыпка // Системи озброєння та військова техніка. – 2013. – № 3(35). – С. 41-44.
6. Шабатура Ю.В. Прохідність модифікованих військових колісних засобів / Ю.В. Шабатура, В.Д. Залыпка // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – № 23(4). – С. 130-139.
7. Волков В.П. Теорія руху автомобіля: підручник / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми: Унів. кн., 2010. – 320 с.
8. Армейские автомобили. Теория / [Антонов А.С., Кононович Ю.А., Магидович Е.И., Прозоров В.С.]. – М.: Воениздат, 1970. – 526 с.
9. Армієські автомобілі. Основи руху, будова, характеристики / [Б.Д. Білоус, П.П. Ткачук, Я.Ф. Андрусик та ін.]; під ред. Б.Д. Білоуса. – Львів: НУ ЛП, 2007. – 536 с.

Надійшла до редколегії 21.08.2015

Рецензент: д-р фіз.-мат. н., доц. В.Ф. Кондрат, Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.