

УМОВА СТІЙКОСТІ АВТОМОБІЛЯ ДО ПЕРЕКИДАННЯ НА ПОВЕРХНІ З БІЧНИМ УХИЛОМ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ ВОГНЮ ЗІ ЗБРОЇ

Розглянуто питання оцінювання стійкості автомобіля на поверхні з бічним ухилом під час ведення вогню зі зброї. Удосконалено математичний вираз, що визначає умову стійкості автомобіля на поверхні з бічним ухилом під час ведення вогню зі зброї, який на відміну від відомих виразів урахує дію сили віддачі зброї та утворювані нею перекидний і встановлювальний моменти. Запропоновано коефіцієнт стійкості та відносний коефіцієнт стійкості, які дають змогу оцінювати запас стійкості до перекидання бойової машини під час ведення вогню зі зброї, а також приймати рішення щодо можливостей її застосування у тих чи інших умовах або використання більш потужної зброї з відповідно більшою силою віддачі.

Ключові слова: бойова машина, стійкість до перекидання, віддача зброї, умова стійкості автомобіля, коефіцієнт стійкості, перекидний момент.

Постановка проблеми. Досвід воєнних конфліктів останніх десятиріч свідчить про постійно зростаючу роль бойових машин (БМ). За останні роки розроблено і прийнято на озброєння силових структур України значну кількість БМ різного призначення: бронетранспортери; носії протитанкових засобів, протиповітряних засобів, мінометів; машини радіоелектронної розвідки та радіоелектронної боротьби; машини медичної евакуації тощо. Особливо варто відмітити такий тип БМ, як безпілотні наземні комплекси, які оснащені різноманітною вогнепальною зброєю, – автоматичними гвинтівками, ручними, єдиними та великокаліберними кулеметами, автоматичними гранатометами, автоматичними гарматами тощо.

Безпілотні БМ, на відміну від традиційних, зазвичай мають менші масо-габаритні характеристики (таблиця 1) [1, 2, 3].

Таблиця 1 – Масо-габаритні характеристики деяких безпілотних модулів (платформ)

№ пор.	Найменування	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Маса, кг	Висота центру мас, мм
1	Безпілотний роботизований модуль «Скорпіон»	1320	860	500	370	360
2	Безпілотна платформа для логістики «Туран»	1600	1400	800	470	540
3	Роботизована платформа «Ласка 2.0»	2270	1300	950	670	680
4	Безпілотна роботизована платформа «Гном»	600	570	380	50	270
5	Безпілотна роботизована шестиколісна платформа «Гном»	710	615	380	85	255
6	Наземна роботизована платформа вогневої підтримки «Гном-ВП»	1050	747	1057	88	400
7	Логістично-евакуаційна платформа «Тайра»	1200	800	500	120	340

Це позитивно відбивається на їхній прихованості, бойовій живучості, а також вартості, що в цілому підвищує ефективність застосування таких машин. Проте через порівняно малі значення колії та бази виникають проблеми зі статичною та динамічною стійкістю під час подолання перешкод. Це обумовлено не вигідним відношенням геометричних розмірів перешкод, які долаються, до розмірів безпілотних БМ, що, зокрема, потребує збільшення відносного діаметра коліс та кліренсу машини. Унаслідок цього відносне положення центру мас зсувається догори. Це негативно відбивається на показниках стійкості, зокрема коефіцієнті поперечної стійкості, що визначається як відношення колії коліс автомобіля до його подвоєної висоти центру мас [4].

Не менш істотним чинником, що погіршує стійкість безпілотних БМ, є сила віддачі вогнепальної зброї, яка створює перекидний момент. У порівнянні з традиційними БМ сила

віддачі для менших за масо-габаритними характеристиками безпілотних БМ є більш значущою, що обумовлюється відношенням перекидного моменту від сили віддачі до стабілізуювального моменту, що є пропорційним до маси машини.

Це відношення для традиційних БМ залежно від маси машини і типу озброєння становить порядку $2 \cdot 10^{-4} \dots 1,5 \cdot 10^{-5}$. Для значно більш легких безпілотних БМ відношення моменту від сили віддачі до стабілізуювального моменту є суттєво більшим – $0,8 \dots 0,12$, що негативно відбивається на статичній стійкості під час застосування зброї. Розрахунки співвідношень здійснено згідно із [4]. Значення ефективної сили віддачі для кулеметів 7,62-мм ПКТ, 12,7-мм НСВТ, 14,5-мм КПВТ, 30-мм ЗТМ-2 розраховано відповідно до [5, 6, 7].

Крім того, під час виконання завдань на пересіченій місцевості або у місцевості, що покрита рослинністю, висота лінії вогню повинна бути не меншою, ніж висота рослин для безперешкодного руху куль (снарядів, гранат) у просторі. Підвищення лінії вогню сприяє збільшенню плеча перекидного моменту та сумарного значення дестабілізуювального моменту.

Отже, значущість впливу сили віддачі вогнепальної зброї на стійкість бойових машин обумовлює необхідність її врахування під час моделювання процесу втрати стійкості у різних умовах застосування БМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час питання стійкості автомобілів достатньо досліджене і висвітлено у багатьох літературних джерелах. Так, у праці [8] розглянуто оцінні показники стійкості автомобіля, умови збереження його поперечної та поздовжньої стійкості, вплив експлуатаційних факторів на стійкість та випробування на стійкість. У науковій статті [9] наведено методи оцінювання стійкості автомобіля на різних режимах руху, а також питання обґрунтування стійкості та керованості руху автомобіля, впливу режимів руху на стійкість автомобіля. У виданні [10] приділено значну увагу теорії експлуатаційних властивостей автомобілів і розглянуто оцінні показники стійкості автомобіля та умови збереження його стійкості. У публікації [11] досліджено рух автомобілів і тракторів на поперечному ухилі, розглянуто питання їхньої керованості та стійкості. У монографії [12] увагу зосереджено на поперечній стійкості автопоїздів; у ній досліджено питання обґрунтування вибору критерію оцінювання показників поперечної стійкості та шляхів поліпшення зазначених показників. У праці [13] вивчено питання випробувань технічних систем; наведено основні оцінні показники поперечної стійкості автомобіля та порядок проведення випробувань автомобілів на бічну стійкість. Автор статті [14] звернув увагу на метод оцінки поперечної стійкості автомобіля під час наїзду на перешкоду за умови зчеплення коліс, а також моделі поперечної стійкості прямолінійного руху автомобіля з постійною швидкістю, зокрема під час пересування пересіченою місцевістю. У праці [15] стосовно теорії експлуатаційних властивостей автомобіля розглянуто, зокрема, питання поперечної стійкості автомобіля.

При цьому у жодному з проаналізованих джерел, включно з такими, в яких вивчається військова техніка, не розглядається вплив сили віддачі зброї на бічну стійкість автомобіля. Отже, є проблемна ситуація, яка полягає у суперечності між необхідністю прогнозування показників стійкості автомобільної техніки, зокрема бойових машин, з урахуванням сили віддачі зброї та відсутністю відповідних математичних та емпіричних моделей.

Мета статті – визначення умови стійкості автомобіля до перекидання на поверхні з бічним ухилом під час ведення вогню зі зброї.

Виклад основного матеріалу. Для оцінювання поперечної стійкості автомобіля прийнято використовувати кілька показників, серед яких критична швидкість по заносу, критична швидкість по перекиданню, критичний кут поперечного ухилу дороги по заносу, критичний кут поперечного ухилу дороги по перекиданню, коефіцієнт поперечної стійкості та ін. [4, 16, 17].

З огляду на те, що застосування безпілотних БМ пов'язане з рухом по пересіченій місцевості з відносно низькими швидкостями, а відсутність механізмів стабілізації зброї дає змогу ведення ефективного вогню тільки з місця, найбільш важливим показником поперечної стійкості для таких БМ слід вважати критичний кут поперечного ухилу дороги по перекиданню.

Критичним кутом поперечного ухилу дороги по перекиданню β називається граничний кут, у разі якого ще можливий прямолінійний рух автомобіля косогором без перекидання [4].

Для визначення критичного кута поперечного ухилу дороги необхідно оцінити співвідношення перекидного M_n та встановлювального M_s моментів. Під час прямолінійного руху дорогою з поперечним ухилом перекидання автомобіля може початися у тому випадку, коли перекидний момент, який створений поперечною силою, урівноважений установлювальним моментом, обумовленим нормальною складовою ваги автомобіля [4]:

$$M_n = M_e. \quad (1)$$

Для визначення зазначених моментів зазвичай використовують схему рисунка 1 [4], яка ілюструє дію ваги автомобіля G_a , що прикладається у центрі мас ЦМ та розкладається на проєкції $G_a \sin \beta$ та $G_a \cos \beta$.

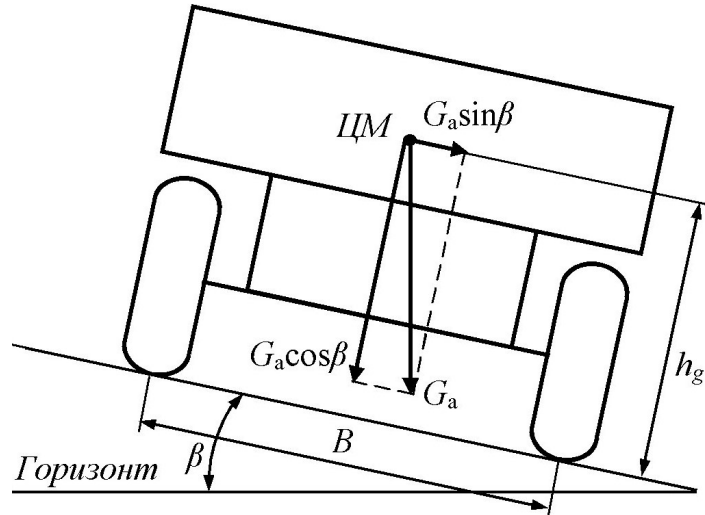


Рисунок 1 – Схема сил і моментів, які діють на центр мас автомобіля, що розташований на поверхні з бічним ухилом

Величини цих складових ваги (проєкцій) залежать від значення кута ухилу (косогору) β . Складова ваги $G_a \sin \beta$ діє відносно поверхні дороги на плечі h_g , що відповідає висоті ЦМ та утворює перекидний момент $h_g G_a \sin \beta$. Складова $G_a \cos \beta$ діє на плечі, що дорівнює половині колії автомобіля B та утворює встановлювальний момент $B/2 G_a \cos \beta$. У цьому разі вираз (1) матиме такий вигляд [4]:

$$h_g G_a \sin \beta = B/2 G_a \cos \beta. \quad (2)$$

З урахуванням того, що у цьому випадку β дорівнює куту перекидання β_n , знаходимо критичний кут поперечного ухилу дороги по перекиданню [4]:

$$\beta_n = \arctg \frac{B}{2h_g}. \quad (3)$$

У разі, коли на автомобіль встановлено вогнепальну зброю, у момент ведення вогню виникають додаткові сили та моменти, які ілюструє рисунок 2.

Сила віддачі зброї F_e прикладається у точці перетину осі каналу ствола та осі симетрії елемента, на якому кріпиться зброя (башта, вертлюг, стійка тощо). Вектор сили віддачі утворює з горизонтом деякий кут Θ_0 – кут підвищення ствола, який обумовлюється кутом місця цілі та відстанню до неї. Відносно автомобіля (його горизонтальної площини) вектор сили віддачі утворює кут $(\Theta_0 - \beta)$, унаслідок чого силу віддачі можна розкласти на проєкції $\cos(\Theta_0 - \beta)$ та $F_e \sin(\Theta_0 - \beta)$.

Складова сили віддачі $F_e \cos(\Theta_0 - \beta)$ діє відносно поверхні дороги на плечі h_e , що відповідає висоті розташування ствола зброї та утворює перекидний момент $h_e F_e \cos(\Theta_0 - \beta)$. Складова $F_e \sin(\Theta_0 - \beta)$ діє на плечі, що дорівнює половині колії автомобіля B та утворює встановлювальний момент $B/2 F_e \sin(\Theta_0 - \beta)$.

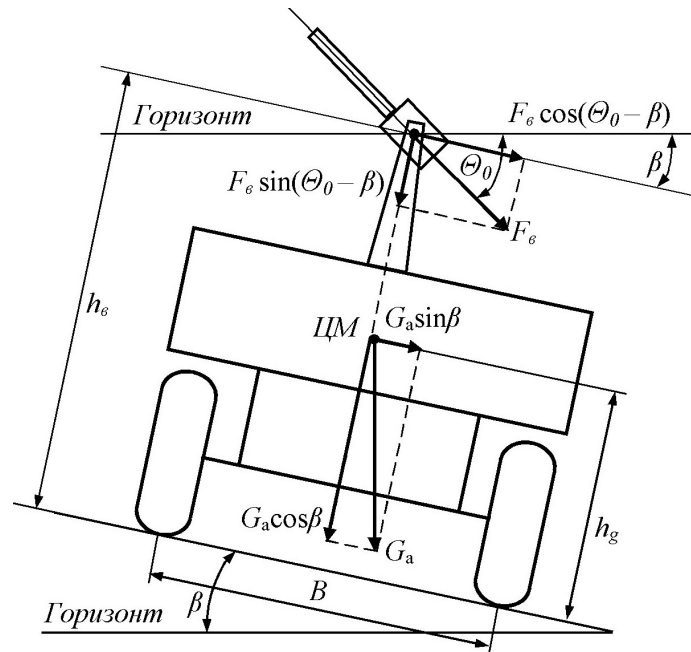


Рисунок 2 – Схема сил і моментів, які діють на центр мас автомобіля, що розташований на поверхні з бічним ухилом, під час ведення вогню зі зброї

У цьому разі вираз (1) набирає вигляду (4):

$$h_g G_a \sin \beta + h_\epsilon F_\epsilon \cos(\Theta_0 - \beta) = \frac{B}{2} (G_a \cos \beta + F_\epsilon \sin(\Theta_0 - \beta)). \quad (4)$$

Вираз (4) є вдосконаленою умовою стійкості автомобіля до перекидання на поверхні з бічним ухилом під час ведення вогню зі зброї. На відміну від відомих виразів наведений вираз урахує дію сили віддачі зброї та утворювані нею перекидний і встановлювальний моменти.

Наявність у формулі (4) тригонометричних функцій з різними аргументами суттєво ускладнює визначення кута перекидання β_n аналітичними методами. При цьому визначення β_n чисельними методами не становить складнощів.

У таблиці 2 наведено розраховані значення кута перекидання для деяких комбінацій безпілотних модулів (платформ) і зразків стрілецької зброї. Розрахунки здійснено для висоти розташування ствола зброї відносно рівня ґрунту 1,3 м та кута $\Theta_0 = \beta$, який відповідає найбільш несприятливим умовам щодо забезпечення стійкості БМ. Дійсно, при рівності Θ_0 і β маємо встановлювальний момент від сили віддачі, який дорівнює нулю, а перекидний момент набуває максимального значення. Це пояснюється відповідними значеннями тригонометричних функцій при нульовому значенні аргументу.

Таблиця 2 – Значення кута перекидання для деяких комбінацій безпілотних модулів (платформ) та зразків стрілецької зброї

№ пор.	Найменування	Зброя	β_n , град.
1	Безпілотний роботизований модуль «Скорпіон»	7,62-мм кулемет ПКТ	34,9
		12,7-мм кулемет НСВТ	9,2
2	Безпілотна платформа для логістики «Туран»	7,62-мм кулемет ПКТ	44,2
		12,7-мм кулемет НСВТ	31,7
3	Роботизована платформа «Ласка 2.0»	7,62-мм кулемет ПКТ	35,8
		12,7-мм кулемет НСВТ	14,2
4	Логістично-евакуаційна платформа «Тайра»	7,62-мм кулемет ПКТ	3,8
		12,7-мм кулемет НСВТ	–

Для відносно легких платформ «Гном» (50 кг) та «Гном-ВМ» (88 кг) віддача зброї під час

стрілби у бічному напрямку (кут 90° відносно поздовжньої осі машини) веде до перекидання. Аналогічна ситуація з логістично-евакуаційною платформою «Тайра» у разі встановлення на неї 12,7-мм кулемета НСВТ. Розрахунки відповідають значенню $h_e = 1,3$ м і мають ілюстративний характер. Зі зменшенням величини h_e на певну величину умова стійкості буде виконуватися. Наприклад, комплекс «Гном-ВМ» з 7,62-мм кулеметом ПКТ набуває стійкості при $h_e \leq 0,965$ м.

Для оцінювання запасу стійкості БМ за умов ведення вогню зі зброї пропонується використовувати коефіцієнт стійкості K_{CT} , що визначається як різниця встановлювальних та перекидних моментів від ваги БМ та сили віддачі зброї за такою формулою:

$$K_{CT} = \frac{B}{2} (G_a \cos \beta + F_g \sin(\Theta_0 - \beta)) - h_g G_a \sin \beta - h_g F_g. \quad (5)$$

Залежності коефіцієнта стійкості від кута нахилу для деяких сполучень безпілотних платформ зі зразками стрілецької зброї наведено на рисунку 3. Розрахунки здійснено для висоти розташування ствола зброї відносно рівня ґрунту 1,3 м та кута $\Theta_0 = \beta$.

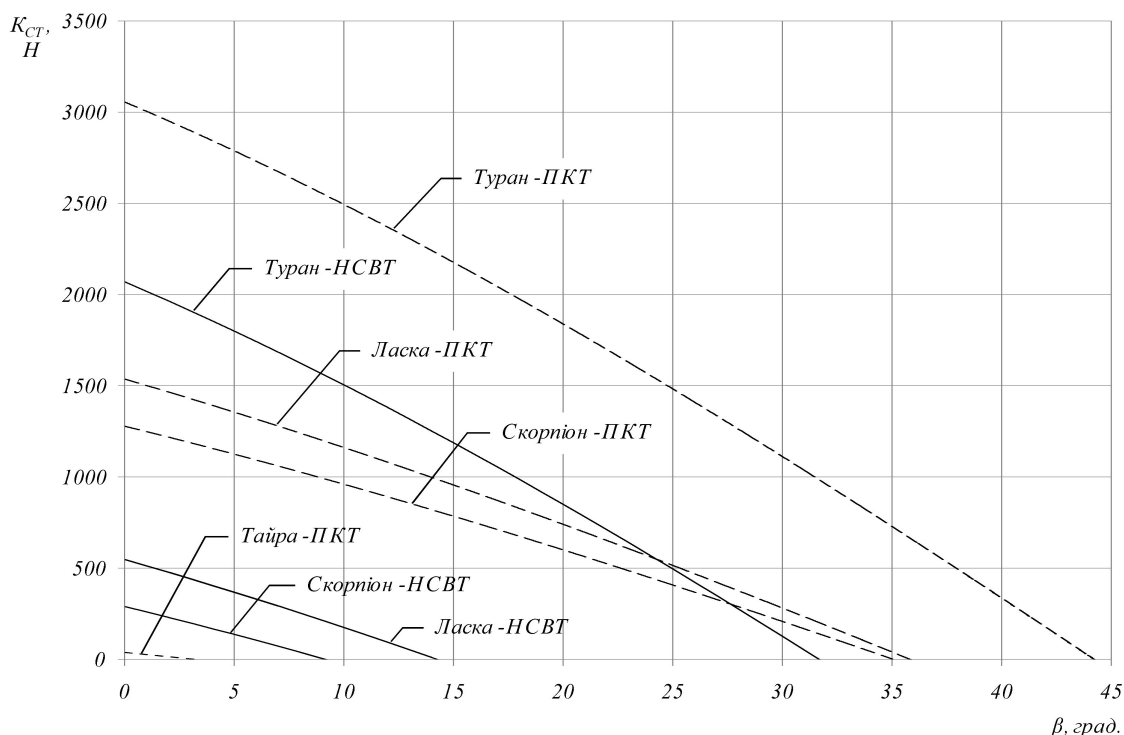


Рисунок 3 – Залежності коефіцієнта стійкості від кута нахилу для деяких сполучень безпілотних платформ зі зразками стрілецької зброї при $h_e = 1,3$ м, $\Theta_0 = \beta$

Як видно на рисунку 3, більші значення коефіцієнта стійкості мають безпілотні модулі (платформи) з більшими масою та колією. При цьому для одного типу модуля (платформи) значення коефіцієнта стійкості залежить від використовуваної зброї: для 7,62-мм кулемета ПКТ значення K_{CT} є більшим, ніж для 12,7-мм кулемета НСВТ, що пояснюється різницею сили віддачі НСВТ порівняно з ПКТ більше ніж у три рази. Перетинання кривих з віссю абсцис відповідає значенню кута перекидання β_n .

Іншим варіантом оцінювання запасу стійкості БМ за умов ведення вогню зі зброї є відносний коефіцієнт стійкості, що визначається як відношення суми встановлювальних моментів до суми перекидних моментів:

$$K_{CTB} = \frac{0,5B(G_a \cos \beta + F_g \sin(\Theta_0 - \beta))}{h_g G_a \sin \beta + h_g F_g}. \quad (6)$$

Залежності відносного коефіцієнта стійкості від кута нахилу для деяких сполучень безпілотних платформ зі зразками стрілецької зброї наведено на рисунку 4.

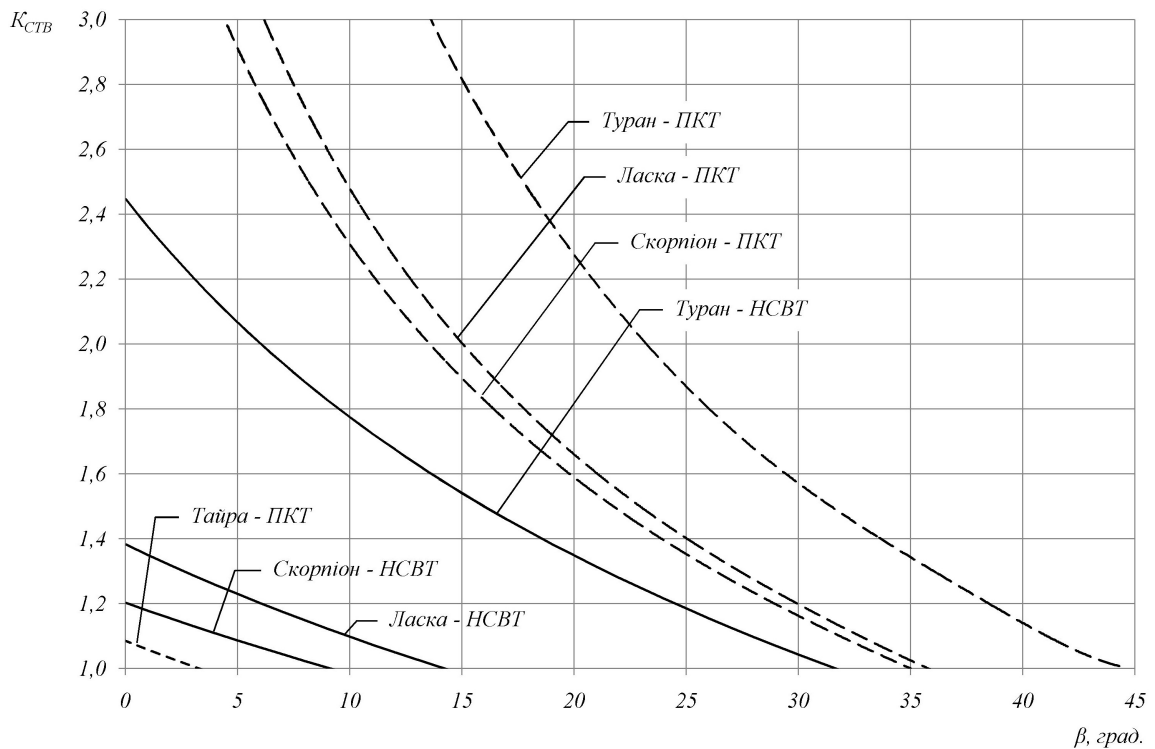


Рисунок 4 – Залежності відносного коефіцієнта стійкості від кута нахилу для деяких сполучень безпілотних платформ зі зразками стрілецької зброї при $h_e = 1,3$ м, $\Theta_0 = \beta$

Перетинання кривих з віссю абсцис, як і на попередньому рисунку 3, відповідає значенню кута перекидання β_n . Проте на відміну від нього значення кута перекидання відповідає не нульовому значенню коефіцієнта, а значенню, яке дорівнює одиниці, що впливає з формули (6).

Запропоновані коефіцієнт стійкості та відносний коефіцієнт стійкості дають змогу оцінювати запас стійкості в абсолютних та відносних величинах і приймати рішення щодо можливостей застосування БМ у тих чи інших умовах або використання більш потужної зброї з відповідно більшою силою віддачі.

Висновки

1. Удосконалено математичний вираз, що визначає умову стійкості автомобіля до перекидання на поверхні з бічним ухилом під час ведення вогню зі зброї. На відміну від відомих виразів зазначений вираз урахує дію сили віддачі зброї та утворювані нею перекидний і встановлювальний моменти.

2. Запропоновано коефіцієнт стійкості та відносний коефіцієнт стійкості, які дають змогу оцінювати запас стійкості бойової машини під час ведення вогню зі зброї в абсолютних та відносних величинах, а також приймати рішення щодо можливостей застосування бойових машин у тих чи інших умовах або використання більш потужної зброї з відповідно більшою силою віддачі.

Напрямом подальшого дослідження є вивчення впливу жорсткості підвіски на стійкість автомобіля до перекидання на поверхні з бічним ухилом під час ведення вогню зі зброї.

Перелік джерел посилання

1. Temerland military solutions. URL: <https://temerland.com/rishennya> (дата звернення: 10.09.2024).
2. Військовий безпілотний наземний транспорт. URL: <https://ua.satuav.com/unmanned-robot/military-unmanned-ground-vehicle.html> (дата звернення: 10.09.2024).
3. THeMIS – естонський бойовий робот, за яким полює росія. URL: <https://surli.cc/xpmont> (дата звернення: 10.09.2024).
4. Страшний І. Л., Горбунов А. П. Експлуатаційні властивості автомобілів : навч. посіб. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2014. 94 с.

5. Kriukov O. M. et al. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. No. 1/5 (97). P. 40–46.
6. Біленко О. І., Пашенко В. В. Аналіз задач балістичного проектування кінетичної зброї не смертельної дії. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків, 2011. Вип. 1. С. 8–11.
7. Біленко О. І., Афанасьєв В. В. Вплив параметрів заряджання на початкову швидкість кулі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків : НТУ «ХПІ», 2007. № 11. С. 33–37.
8. Волков В. П., Вільський Г. Б. Теорія руху автомобіля : підручник. Суми : Університетська книга, 2015. 320 с.
9. Сахно В. П., Марчук Р. М., Онищук В. П., Придюк В. М. До визначення показників маневреності і стійкості руху автопоїзда контейнеровоза. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2010. № 2 (53). С. 127–134.
10. Левкович М. Г., Босюк П. В., Клендій В. М. Теорія експлуатаційних властивостей автомобілів : конспект лекцій. Тернопіль : ТНТУП, 2016. Ч. 2. 123 с.
11. Подригало М. А., Шелудченко В. В. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів : навч. посіб. Суми : СНАУ, 2015. 213 с.
12. Поляков А. П., Гречанюк М. С., Коробов С. С. Поперечна стійкість сідлового автопоїзда при дії зовнішніх збурень : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2015. 105 с.
13. Практичні заняття з дослідження та випробування технічних систем : навч. посіб. / О. М. Артюх та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 136 с.
14. Башинський А. Л. Метод оцінки поперечної стійкості автомобіля під час наїзду на перешкоду за умови зчеплення коліс. *Збірник наукових праць Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2017. Вип. 40. С. 88–93.
15. Біліченко В. В., Добровольський О. Л., Смірнов Є. В., Огневий В. О. Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей : лаб. практикум. Вінниця : ВНТУ, 2017. 86 с.
16. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів: у 3 ч. / Ч. 3. Маневреність. Керованість. Стійкість : навч. посіб. / В. П. Сахно та ін. Донецьк : Ландон-XXI, 2015. 400 с.
17. Теорія руху автомобіля : метод. вказівки / Уклад.: В. В. Кальченко, В. І. Венжега, Г. В. Пасов. Чернігів : ЧНТУ, 2019. 62 с.

Стаття надійшла до редакції 25.11.2024 р.

UDC 623.4

O. Bilenko, S. Shabatura

THE CONDITION OF THE VEHICLE'S RESISTANCE TO OVERTURNING ON A SURFACE WITH A LATERAL SLOPE WHEN FIRING FROM THE WEAPON

The article considers the issue of assessing the stability of a vehicle on a surface with a lateral slope when firing from a weapon. The mathematical expression defining the condition for the stability of a car on a surface with a side slope when firing from weapons is improved, which, unlike the known ones, takes into account the effect of the recoil force of the weapon and the overturning and setting moments generated by it. The stability coefficient and relative stability coefficient are proposed, which allow assessing the margin of safety against overturning of a combat vehicle during weapons fire and allows making decisions about the possibility of its use in certain conditions or the use of more powerful weapons with a correspondingly greater recoil force.

The mathematical expression that defines the condition for the stability of a vehicle to overturn on a surface with a lateral slope during weapons fire has been improved. In contrast to the known expressions, the expression takes into account the effect of the recoil force of the weapon and the overturning and setting moments generated by it.

The stability coefficient and relative stability coefficient are proposed, which allow estimating the stability margin of a combat vehicle during weapons fire in absolute and relative terms. This makes it possible to make decisions on the possibility of using a combat vehicle in certain conditions or using more powerful weapons with a correspondingly greater force of recoil.

The direction of further research is to study the effect of suspension stiffness on the vehicle's resistance to rollover on surfaces with a side slope during weapons fire.

Keywords: *combat vehicle, resistance to rollover, weapon recoil, vehicle stability condition, stability coefficient, overturning moment.*

Біленко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0001-6007-3330>

Шабатура Сергій Олександрович – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України
<http://orcid.org/0000-0003-1107-2088>