

УДК 629.017



М. А. Подригало



А. І. Нікорчук

ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ КОЛОН З БЕЗПІЛОТНИМИ АВТОМОБІЛЯМИ

Проведене оцінювання зниження додаткових втрат енергії на рух автомобільних колон з використанням безпілотних автомобілів. Пропонуються математична та фізична моделі визначення додаткових втрат енергії двигуна, спричинених коливаннями відносних швидкостей руху автомобілів у колоні. Отримана умова, виконання якої забезпечує зниження додаткових втрат енергії двигуна з використанням безпілотних автомобілів у колоні.

К л ю ч о в і с л о в а: автомобільна колона, безпілотний автомобіль, втрати енергії, швидкість.

Постановка проблеми. Застосування безпілотних автомобілів у складі автомобільних колон дозволяє підвищити результативність виконання операцій в рамках службово-бойової діяльності частин і підрозділів Національної гвардії України. Також це дозволяє не тільки зменшити довжину колони, збільшити її швидкість і керованість, а і зменшити втрати енергії (витрату пального) при переміщенні із початкового в кінцевий пункти руху.

Використання системи автоматичного керування дистанцією між автомобілями зменшує амплітуду коливань лінійної швидкості і розмах коливань кінетичної енергії автомобіля.

У цій статті розглянуто вплив зниження амплітуди коливань швидкості автомобіля, що рухається в колоні, на зниження втрат енергії двигуна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність застосування безпілотних автомобілів у складі автомобільних колон досліджено у працях [1, 2]. У них розглянуто переваги автомобільної колони з безпілотними автомобілями (крім головної машини, в якій знаходиться начальник колони та водій).

Такими перевагами є:

- незалежність довжини автомобільної колони від швидкості;
- використання безпілотних автомобілів дозволяє скоротити час проходження ділянок шляху невеликої довжини;
- застосування безпілотних автомобілів дозволяє зменшити довжину колони або збільшити число автомобілів при незмінній її довжині;
- керування безпілотними автомобілями в колоні найбільш ефективно за наявності комбінованого електромеханічного приводу ведучих коліс.

У тезах доповіді [3] автори зазначають, що використання безпілотних автомобілів дасть змогу уникнути втрат серед особового складу, зменшить трудомісткість робіт із захисту кабін, що зменшуватиме масу та відповідно покращить тактико-технічні характеристики таких зразків.

Задача синхронізації руху автомобілів, що входять в організовану автомобільну колону, розглянута у праці [4]. У цій статті запропонована модель багатокомпонентного складного руху. При цьому переносний рух відповідає середній швидкості руху автомобільної колони. Для кожного автомобіля колони відносна швидкість руху визначається різницею між його власною швидкістю і швидкістю автомобіля, що рухається попереду. Кількість автомобілів у колоні дорівнює кількості відносних рухів багатокомпонентного складного руху.

Автомобілі є ланками механічного (кінематичного) ланцюга – колони. Відмінністю такого кінематичного ланцюга від класичного, що розглядається в теорії механізмів і машин [5], є відсутність механічних кінематичних пар. Взаємодія між ланками здійснюється завдяки інформаційному (телеметричному) зв'язку. Тому зв'язок між ланками податливий, не жорсткий.

© М. А. Подригало, А. І. Нікорчук, 2021

За відсутності телеметричного зв'язку контроль дистанції між автомобілями і її регулювання здійснює водій.

У разі автоматичного управління дистанцією між автомобілями відносні швидкості прагнуть до нуля. В ідеальному випадку управління вони дорівнюють нулю і систему (автомобільну колону) можна вважати жорсткою.

Модель багатокomпонентного складного руху використовувалась також у дисертації [6]. У цій праці визначені додаткові втрати енергії на рух автомобіля, обумовлені нерівномірністю (коливаннями) тягової сили

$$\Delta W = \frac{A_p}{\pi} S, \quad (1)$$

де A_p – амплітуда коливань тягової сили;

$\pi = 3,14$ – стала величина;

S – шлях, пройдений автомобілем.

Однак у проведених раніше дослідженнях не визначені додаткові втрати енергії на відносний рух автомобілів у колоні.

Метою статті є оцінювання зниження додаткових втрат енергії на рух автомобільних колон з використанням безпілотних автомобілів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу визначення додаткових втрат енергії на рух автомобілів у колоні.

Виклад основного матеріалу. Припустимо, що швидкість руху автомобільної колони підкоряється гармонічному закону

$$V = \bar{V} + A_v \sin(\Omega t), \quad (2)$$

де \bar{V} – середня (переносна) швидкість руху автомобільної колони;

A_v – амплітуда коливань відносної швидкості V_r ,

$$V_r = A_v \sin(\Omega t), \quad (3)$$

Ω – колова частота коливань відносної швидкості автомобіля;

t – час.

У випадку керування автомобілів водіями амплітуда коливань відносних швидкостей A_v більше, ніж амплітуда коливань A_v^* у безпілотних автомобілів.

Втрати енергії, спричинені коливаннями швидкості автомобіля, визначаються її розмахом [4] за один цикл

$$\Delta W_{\text{двч}} = \frac{M(V_{\text{max}}^2 - V_{\text{min}}^2)}{2\eta_{\text{тр}}} - \frac{M}{\eta_{\text{тр}}} \bar{V} \Delta V_{\text{max}}, \quad (4)$$

де M – маса автомобіля;

$V_{\text{max}}; V_{\text{min}}$ – максимальна і мінімальна швидкості автомобіля;

ΔV_{max} – максимальна зміна швидкості руху;

$\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансмісії автомобіля (однаковий для всіх автомобілів).

У розглянутому випадку середня (переносна) швидкість руху \bar{V} визначається як

$$\bar{V} = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{2}. \quad (5)$$

Графіки залежності для керованих водієм та безпілотних автомобілів наведені на рис. 1. Очевидно, що

$$\Delta V_{\text{max}} = 2 A_v. \quad (6)$$

Вираз (4) з урахуванням рівняння (6) матиме такий вигляд:

$$\Delta W_{\text{дв.ц}} = \frac{A_v 2M\bar{V}}{\eta_{\text{тр}}} \quad (7)$$

Час циклу коливань швидкості автомобіля (період коливань)

$$T = \frac{2\pi}{\Omega} \quad (8)$$

Додаткові втрати енергії двигуна за час t

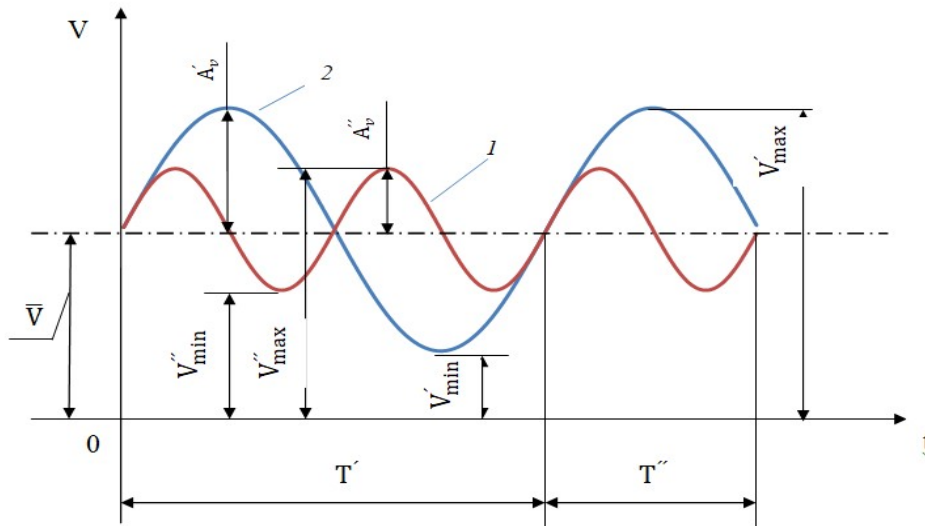
$$\Delta W_{\text{дв.т}} = \Delta W_{\text{дв.ц}} \frac{t}{T} = M\bar{V} \frac{A_v}{\pi\eta_{\text{тр}}} t\Omega \quad (9)$$

Враховуючи, що

$$s = \bar{V}t \quad (10)$$

приведемо формулу (9) до вигляду

$$\Delta W_{\text{дв.с}} = M \frac{A_v}{\pi\eta_{\text{тр}}} \Omega s \quad (11)$$



1 – автомобілі з водіями; 2 – безпілотні автомобілі

Рисунок 1 – Графіки залежності швидкості автомобіля в колоні від часу

У випадку руху в колоні сумарні додаткові втрати енергії двигуна будуть дорівнювати

$$\Delta W_{\text{дв.с}} = \sum_{i=1}^n \Delta W_{\text{дв.с}_i} = \frac{s}{\pi\eta_{\text{тр}}} \sum_{i=1}^n M_i A_{vi} \Omega_i \quad (12)$$

де $\Delta W_{\text{дв.с}_i}$; M_i ; A_{vi} ; Ω_i – параметри i -го автомобіля, що входить у колону;
 n – кількість автомобілів у колоні.

Для керованих водіями автомобілів

$$\Delta W'_{\text{дв.с}} = \frac{s}{\pi\eta_{\text{тр}}} \sum_{i=1}^n M_i A'_{vi} \Omega'_i \quad (13)$$

Для колони з безпілотними автомобілями

$$\Delta W_{\text{дв.}\Sigma}'' = \frac{S}{\pi \eta_{\text{тр}}} \sum_{i=1}^n M_i A_{\text{вi}}'' \Omega_i'' \quad (14)$$

Для всіх автомобілів, що входять в колону, параметри

$$A_{\text{в}}' = A_{\text{вi}}' = \text{const}; A_{\text{в}}'' = A_{\text{вi}}'' = \text{const}; \Omega_i' = \Omega' = \text{const}; \Omega_i'' = \Omega'' = \text{const}.$$

Перетворюємо вирази (13) та (14) відповідно до вигляду

$$\Delta W_{\text{дв.}\Sigma}' = \frac{A_{\text{в}}' \Omega' \sum_{i=1}^n M_i}{\pi \eta_{\text{тр}}}, \quad (15)$$

$$\Delta W_{\text{дв.}\Sigma}'' = \frac{A_{\text{в}}'' \Omega'' \sum_{i=1}^n M_i}{\pi \eta_{\text{тр}}}. \quad (16)$$

Порівнюючи вирази (15) і (16), визначимо

$$\frac{\Delta W_{\text{дв.}\Sigma}'}{\Delta W_{\text{дв.}\Sigma}''} = \frac{A_{\text{в}}' \Omega'}{A_{\text{в}}'' \Omega''} = \frac{A_{\text{в}}' T'}{A_{\text{в}}'' T''} = \frac{A_{\text{в}}' V'}{A_{\text{в}}'' V''}, \quad (17)$$

де V' ; V'' – частоти коливань швидкості автомобілів з водіями та безпілотних автомобілів відповідно.

З рівняння (17) видно, що для зменшення додаткових втрат енергії двигуна у разі руху колони з безпілотними автомобілями необхідне виконання умови

$$A_{\text{в}}'' V'' < A_{\text{в}}' V' \quad (18)$$

або

$$\frac{A_{\text{в}}''}{A_{\text{в}}'} < \frac{V'}{V''}. \quad (19)$$

Таким чином, авторами визначена умова підвищення енергоефективності застосування колон з безпілотними автомобілями завдяки зниженню додаткових втрат енергії двигуна при коливаннях швидкості руху.

Висновки

1. У результаті проведеного дослідження запропоновані фізична і математична моделі виникнення додаткових втрат енергії двигуна, спричинені коливаннями відносних швидкостей руху автомобілів у колоні.
2. Отримана умова (19), виконання якої забезпечує зниження додаткових втрат енергії двигуна у випадку використання безпілотних автомобілів у колоні.

Перелік джерел посилання

1. Повышение маневренности и управляемости колонн Национальной гвардии Украины применением беспилотных автомобилей / С. А. Соколовский и др. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*, 2018. Вип. 1(31). С. 27–34.
2. Кайдалов Р. О. Наукові основи створення автомобілів з комбінованою енергетичною установкою : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.02. Харків, 2018. 402 с.
3. Перспективи використання безпілотних автоколон. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2021/05/robovehicle.html?m=0> (дата звернення: 16.08.2021).
4. Operating of mobile machine units system using the model of multicomponent complex movement / A. Lebedev et al. *Автомобильный транспорт* : сб. науч. тр. Харьков : ХНАДУ, 2015. Вып. 36. С. 60–66.
5. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. Москва : Наука, 1975. 640 с.
6. Абрамов Д. В. Концепція покращення функціональної стабільності динамічних та енергоперетворюючих властивостей автомобілів : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.02. Харків, 2018. 480 с.

Стаття надійшла до редакції 07.09.2021 р.

УДК 629.017

М. А. Подригало, А. І. Нікорчук

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛОНН С БЕСПИЛОТНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ

Проведена оцінка зниження додаткових витрат енергії на рух автомобільних колон при використанні безпілотних автомобілів. Пропонується математична і фізична моделі визначення додаткових витрат енергії двигача, які виникають внаслідок коливань відносних швидкостей руху автомобілів в колоні. Отримано умову, виконання якої забезпечує зниження додаткових витрат енергії двигача при використанні безпілотних автомобілів в колоні.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобільна колонна, безпілотний автомобіль, витрати енергії, швидкість.

UDC 629.017

M. Podrigalo, A. Nikorchuk

THE ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENTS OF UNMANNED VEHICLE CONVOYS

The National Guard of Ukraine missions and operations are not possible without the armored vehicles. The mission area may be located in remote zones from the home bases and in these case, the movement of troops will be carried out with armored vehicles within the convoys.

The use of unmanned vehicles as part of convoys allows to increase the effectiveness of combat operations of the National Guard of Ukraine units. The use of unmanned vehicles allows not only to reduce the length of the column, increase its speed and controllability, but also to reduce energy consumption (fuel consumption) when moving from the initial to the final points of movement.

The use of unmanned vehicles will avoid the loss of personnel, reduce the amount of work on booking the cabin, as well as improve the tactical and technical characteristics of the car by reducing its weight.

The use of an automatic distance control system between the assets allows to reduce the amplitude of linear velocity oscillations and the amplitude of oscillations of the vehicle's kinetic energy.

This study examines the effect of reducing the amplitude of oscillations of the speed of a vehicle moving in a convoy on reducing energy consumption of the engine.

The estimation of reduction of additional energy losses on movement of automobile convoys at use of unmanned vehicles is carried out.

A mathematical and physical model for determining the additional energy loss of the engine caused by fluctuations in the relative speeds of vehicles in the convoy is proposed.

So, it was obtained the condition, the implementation of which provides a reduction of additional energy losses of the engine when using unmanned vehicles in the convoy.

К e y w o r d s: convoy, unmanned vehicle, energy consumption, speed.

Подригало Михайло Абович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>

Нікорчук Андрій Іванович – кандидат технічних наук, начальник кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-2683-9106>