

М. А. Подригало¹
Р. О. Кайдалов¹

ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ Й ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ КОЛІСНОЇ ТЕХНІКИ З БЕЗСТУПІНЧАСТОЮ АВТОМАТИЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

¹Національна академія Національної гвардії України

Анотація

Розглянуто динамічні й енергетичні характеристики військової колісної техніки з ДВЗ, що працює з постійною частотою обертання валу, й безступінчастою автоматичною трансмісією. Отримані аналітичні вирази, що дозволяють забезпечувати автоматичне управління безступінчастою коробкою передач за допомогою штучного інтелекту (комп'ютеру), організувавши раціональну зміну передаточного відношення вказаної коробки у часі

Ключові слова: військова колісна техніка, динамічні властивості, енергетична економічність, безступінчаста автоматична трансмісія

Abstract

Considered dynamic and energy characteristics of the military wheeled vehicles with the internal combustion engine that runs at a constant speed of rotation of the shaft and continuously variable automatic transmission. The analytical expressions, allowing management to provide continuously variable automatic transmission by artificial intelligence (computer) by organizing a rational shift Gear ratio of said box in time. The results quantify the energy efficiency of the vehicle during acceleration of the continuously variable transmission over existing transmissions. Proved that the use of continuously variable transmissions and use of internal combustion engines with dual-mode controller that provides the crankshaft speed in a narrow range improves the dynamic properties of vehicles and increase their energy efficiency

Keywords: military wheeled vehicles, dynamic properties, energy efficiency, continuously variable automatic transmission

Військова техніка складає основу засобів рухомості практично усіх об'єктів озброєння та техніки, що забезпечує тактичну і оперативну маневреність військ при виконанні ними службово-бойових (бойових) завдань. Досвід виконання цих завдань підрозділами Національної гвардії України та іншими силовими структурами в зоні проведення антитерористичної операції, свідчить про широке використання саме колісної техніки, яка використовується для перевезення особового складу та матеріальних засобів.

Специфіка застосування військової колісної техніки (ВКТ) полягає у використанні: у різних дорожніх умовах (бездоріжжя, дороги з різним дорожнім покриттям) та кліматичних умовах; при русі у складі автомобільних колон на значні відстані з максимально можливою середньою швидкістю руху; у районі безпосередньої близькості до противника, особливо підрозділів спеціального призначення. Проведений аналіз тактико-технічних характеристик існуючих зразків ВКТ свідчить про їх недостатній запас тягової сили, низькі показники динамічності, маневреності, живучості та скритності пересування, що вимагає їх підвищення [1, 2].

Застосування безступінчастих трансмісій з автоматичним управлінням дозволяє покращити динамічні властивості й енергетичну економічність ВКТ. Якщо при розгоні або сталому режимі русі машини реалізувати навантажувальну характеристику двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) при постійній частоті обертання колінчастого валу у поєднанні з автоматичною безступінчастою трансмісією, тоді зміна швидкості руху ВКТ буде відбуватись за мінімальний час й при мінімальній витраті енергії, що особливо актуально при забезпеченні живучості саме військової техніки.

Застосування безступінчастих передач з автоматичним управлінням є одним із ефективних засобів подальшого підвищення продуктивності й поліпшення основних експлуатаційних властивостей ВКТ [3]. Під безступінчастими передачами розуміються тільки несаморегульовані передачі, що мають зовнішній орган управління та не володіють у широкому діапазоні внутрішньою здатністю до зміни передавальних відношень [3]. До таких передач відносяться гідрооб'ємні, фрикційні й передачі змінної амплітуди коливань (імпульсні) [3]. Імпульсні передачі не отримали розповсюдження на самохідних машинах, але в останні роки з'явилися автомобілі з гібридним електромеханічним приводом ведучих коліс, які дозволяють реалізувати плавну зміну передавального відношення трансмісії.

Дослідженню безступінчастих фрикційних передач присвячені роботи [3-6], а гідравлічних об'ємних трансмісій – [7, 8]. Автоматичному управлінню ступінчастих й безступінчастих передач присвячені роботи [1, 9, 10].

Важливим етапом розроблення автоматичних безступінчастих передач є раціональний вибір регуляторних характеристик двигуна внутрішнього згоряння. В роботі [3] досліджені регуляторні характеристики й рівняння руху самохідної машини з активною безступінчастою передачею й визначена оптимальна регуляторна характеристика ДВЗ.

Відомі [11] чотири основні характеристики які характеризують роботу усіх поршневих ДВЗ, що використовуються для існуючої ВКТ (рис. 1).

Рисунок 1 – Основні характеристики ДВЗ:

1 – швидкісна характеристика; 2 – гвинтова характеристика (для авіаційних та судових двигунів); 3 – навантажувальна характеристика при $\omega_e = \omega_{ном} = const$; 4 – регуляторна характеристика при $\omega_e \neq const$; N_e – ефективна потужність ДВЗ; ω_e – кутова швидкість колінчастого валу; ω_{min} , $\omega_{ном}$ – мінімально стійка і номінальна кутові швидкості колінчастого валу; ω_{max} – максимальна кутова швидкість колінчастого валу

Навантажувальна характеристика 3 (пряма \overline{AD} на рис. 1) використовується в стаціонарних і тепловозних двигунах. Регуляторна характеристика 4 (пряма \overline{AE} на рис. 1) при зменшенні подачі палива допускає збільшення максимальної кутової швидкості колінчастого валу ω_{max} на 5 – 10%. При вказаній характеристиці частина часу працюють тракторні двигуни й автомобільні дизелі, обладнанні регуляторами.

Автор роботи [10] рахує, що з появою безступінчастих передач транспортні машини зі все режимними регуляторами двигунів у ідентичних умовах експлуатації значно поступаються паливній економічності цим машинам з дворегимним регулятором.

На нашу думку [11] в моторно-трансмійних установках з безступінчастими коробками передач необхідно використовувати дворегимні регулятори, що обмежують кутову швидкість колінчастого

валу у інтервалі $[\omega_{ном}, \omega_{max}]$. Такий підхід дає можливість поліпшити як динамічні так і енергоекономічні показники ВКТ при їх модернізації та проектуванні нових зразків.

Робота ДВЗ при постійному швидкісному режимі при $\omega_e = \omega_{ном} = const$ дозволяє зменшити витрати енергії на розгін автомобіля. Зниження витрати енергії ΔW_e можна визначити за наступним виразом:

$$\Delta W_e = \frac{J_e}{2} (\omega_{max}^2 - \omega_{min}^2) \cdot n, \quad (1)$$

де J_e – момент інерції обертових мас двигуна; n – число передач в ступінчастій коробці передач, які використовуються для розгону колісної техніки.

Зниження витрат енергії на розгін автомобіля зручніше всього пов'язувати з кінетичною енергією автомобіля $W_{кин}$, що накопичена після розгону до максимальної швидкості руху V_{max}

$$W_{кин} = \frac{m_{анов} \cdot V_{max}^2}{2}, \quad (2)$$

де $m_{анов}$ – повна маса автомобіля.

Відносне зниження енергетичних витрат δW_e на розгін автомобіля

$$\delta W_e = \frac{\Delta W_e}{W_{кин}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

В таблиці 1 наведено результати розрахунку параметрів ΔW_e , $W_{кин}$ та δW_e для автомобілів різних видів та класів. Параметри J_e ; ω_{max} , ω_{min} , n , $m_{анов}$ та V_{max} взяті із джерел [11, 14, 15, 16].

Таким чином: застосування безступінчастих трансмісій й використання ДВЗ з дворежимним регулятором, що забезпечують обертання колінчастого валу у вузькому швидкісному діапазоні дозволяє поліпшити динамічні властивості ВКТ й підвищити їх енергетичну економічність; отримані аналітичні вирази дозволяють забезпечити автоматичне управління безступінчастої коробки передач за допомогою штучного інтелекту (комп'ютеру), організувавши раціональну зміну передаточного відношення вказаної коробки у часі; розгін ВКТ з безступінчастою коробкою при роботі ДВЗ з постійною кутовою швидкістю колінчастого валу дозволяє, у порівнянні з існуючими трансмісіями, зменшити витрату енергії на розгін. При цьому економія енергії складає: для легкових автомобілів – 3,8% – 5,8%; для вантажних

автомобілів – 4-го класу – 5,5%; для вантажних автомобілів – 5-го класу – 16,5%.

Таблиця 1 – Результати розрахунку показників зниження витрат енергії автомобілів з безступінчастою коробкою передач при розгоні $\omega_e = \omega_{ном} = const$

Вид колісної техніки та клас	J_e , кгм ²	ω_{max} , с ⁻¹	ω_{min} , с ⁻¹	n	$m_{анов}$, кг	V_{max} , км/год	ΔW_e , кДж	$W_{кін}$, кДж	δW_e , %
легковий 1-й клас	0,08	460	314	4	950	90	17,27	295,96	5,8
легковий 2-й клас	0,15	460	314	4	1290	115	33,40	656,16	5,1
легковий 3-й клас	0,27	460	314	3	1875	130	46,69	1218,75	3,8
вантажний 4-й клас	0,61	440	293	5	9525	90	163,89	2967,40	5,5
вантажний 5-й клас	2,45	356	209	5	14225	75	507,79	3077,52	16,5

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кайдалов Р. О. Перспективи застосування гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс для військової колісної техніки / Р. О. Кайдалов // IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки»: тези доповідей, 12 – 13 жовтня 2016 року. – К. : ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. – С. 120 – 122.
2. Кайдалов Р. О. Оцінка зміни складу парку автомобілів та бойових машин Національної гвардії України та шляхи його удосконалення / Р. О. Кайдалов // Одинадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 08 – 09 квітня 2015 року. – Х. : ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. – С. 260–261.
3. Петров В. А. Автоматическое управление бесступенчатых передач самоходных машин / В. А. Петров. – М.: Машиностроение, 1968. – 384 с.
4. Фаробин Я. Е. Фрикционные передачи автомобилей и тракторов / Я. Е. Фаробин. – М. : Машгиз, 1962. – 163 с.
5. Пронин Б. А. Клиноременные и фрикционные передачи и вариаторы / Б. А. Пронин. – М. : Машгиз, 1960. – 334 с.

6. Пронин Б. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) / Б. А. Пронин, Г. А. Ревков. – М. : Машиностроение, 1967. – 404 с.
7. Комисарик С. Ф. Гидравлические объёмные трансмиссии / С. Ф. Комисарик, И. А., Ивановский. – М. : Машгиз, 1963. – 220 с.
8. Погарский Н. А. Универсальные трансмиссии пневмоколёсных машин / Н. А. Погарский. – М. : Машиностроение, 1965. – 220 с.
9. Петров В. А. Автоматические системы транспортных машин / В. А. Петров. – М. : Машиностроение, 1974. – 336 с.
10. Гинцбург Л. Л. Сервоприводы и автоматические агрегаты автомобилей / Л. Л. Гинцбург, Ю. К. Есеновский-Лашков, Д. Г. Поляк. – М. : Транспорт, 1968. – 193 с.
11. Ленин И. М. Теория автомобильных и тракторных двигателей / И. М. Ленин. – М. : Машиностроение, 1969. – 368 с.
12. Гащук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П. Н. Гащук. – Львов : Свит, 1992. – 208 с.
13. Динамика автомобиля / [М. А. Подригало, В. П. Волков, А. А. Бобошко и др.]; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с.
14. Краткий автомобильный справочник. Издание 6-е. М.: Транспорт, 1971. – 512 с.
15. Колчин А. И. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М. : Высшая школа, 1971. – 344 с.
16. Попык К. Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей / К. Г. Попык. – М. : Высшая школа, 1970. – 328 с.

Подригало Михайло Абович, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, e-mail: pmikhab@gmail.com

Кайдалов Руслан Олегович, кандидат технічних наук, доцент, докторант, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, e-mail: kaidalov.76@ukr.net

Michael Podrigalo, Sc. D., professor, leading researcher, research center National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, e-mail: pmikhab@gmail.com

Ruslan Kaidalov, Ph. D., associate professor, doctoral student, National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, e-mail: kaidalov.76@ukr.net