

УДК 629.01.7

М. А. Подригало, Д. В. Абрамов, А. І. Нікорчук

### **РАЦІОНАЛЬНЕ ШИКУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ КОЛОН ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК ЗА КРИТЕРІЄМ ДИНАМІЧНОСТІ**

*У статті запропонований критерій оцінювання динамічних властивостей автомобілів, що знаходяться в колоні, та алгоритм вибору рухомого складу і порядку розміщення автомобілів у колоні.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* автомобільна колона, автомобіль-лідер, індекс динамічності, динамічні властивості автомобілів.

**Постановка проблеми.** Динамічні властивості автомобілів, які входять у склад колони, істотно впливають на її маневреність під час виконання спеціальних операцій внутрішніми військами. Низькі динамічні властивості окремих автомобілів спричинюють розтягування колони, погіршення керованості машинами та їх втрати. Тому при формуванні автомобільних колон внутрішніх військ необхідно враховувати не тільки паспортні тягово-швидкісні властивості машин та їх завантаження, а і їх пробіг, який впливає на зниження вказаних властивостей у процесі експлуатації. У даній статті запропоновано критерій – “індекс динамічності автомобіля в колоні”, що представляє собою відношення лінійного прискорення автомобіля до лінійного прискорення автомобіля-лідера, яким є головний автомобіль начальника колони, що має, як правило, найбільш високі динамічні властивості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінювання технічного рівня автомобілів за показниками динамічних властивостей запропоновано у праці [1]. У ній запропоновано показник – “індекс динамічності” (відносний показник, що дорівнює відношенню максимального початкового прискорення автомобіля, що оцінюють, до аналогічного показника автомобіля, прийнятого за базовий зразок). Як базовий зразок у дослідженні взято автомобіль-лідер, що має найбільше значення початкового максимального лінійного прискорення серед інших автомобілів, які випускаються в світі у розглядаємому році. Визначено середнє значення запропонованого показника для всіх моделей автомобілів, випущених у розглядаємому році.

Високі значення індексу динамічності забезпечує можливість руху автомобілів в єдиному транспортному потоці, знижує ймовірність утворення заторів на дорогах [1].

Запропонований у праці [1] підхід до оцінювання динамічних властивостей дозволяє оцінювати технічний рівень легкових автомобілів і визначати необхідність його підвищення.

Автомобільна колона повинна мати високу маневреність, тобто здатність до переміщення з пункту А в пункт Б за мінімальний час [2]. Для автомобілів, які входять в колону внутрішніх військ, на відміну від автомобілів, які рухаються в міському транспортному потоці, найбільш важливою властивістю є забезпечення руху з мінімально допустимим постійним інтервалом. У разі збільшення інтервалу руху відбувається розтягування колони і зниження її керованості та маневреності [2]. Для забезпечення мінімальної довжини автомобільної колони та мінімального часу її переміщення з початкового пункту в кінцевий необхідно, щоб усі автомобілі мали високі динамічні властивості, які незначно відрізняються одна від одної.

**Метою статті** є визначення способу підвищення маневреності автомобільних колон внутрішніх військ МВС України під час проведення спеціальних операцій шляхом раціонального вибору типу рухомого складу і місця розташування автомобілів у колоні.

Для досягнення зазначеної мети необхідно розробити:

– критерій оцінювання динамічних властивостей автомобілів, які знаходяться в колоні;

– алгоритм вибору рухомого складу і порядку розміщення автомобілів у колоні з використанням запропонованого критерію.

**Виклад основного матеріалу.** Для виконання зазначеного завдання зручно використовувати критерій, вдосконалений по відношенню до критерію, запропонованого у праці [1].

Якщо як базову модель автомобіля-лідера використовувати головний автомобіль (автомобіль начальника колони), то вираз для індексу динамічності машин, які входять в колону, можна записати у вигляді:

$$q_i = \frac{\dot{V}_{i \max}}{\dot{V}_{1 \max}}; \quad (1)$$

де:  $\dot{V}_{i \max}$  – максимальне прискорення автомобіля, що входить в колону;  $\dot{V}_{1 \max}$  – максимальне прискорення головного автомобіля в колоні.

Якщо для автомобілів, що рухаються в міському транспортному потоці, для визначення індексу динамічності [1] використовували максимальне прискорення при рушанні з місця (початкові прискорення), то для автомобілів у колоні визначальними є максимальне прискорення, що може бути розвинене від заданої (сталої) швидкості руху. За нормативними документами [3] максимальна (середня) швидкість руху автомобільних колон внутрішніх військ МВС України не повинна перевищувати 40 км/год (11,1 м/с). Наразі розглядається питання про зняття обмежень на зазначену швидкість. Як відомо, зі збільшенням швидкості руху знижується максимальне прискорення автомобіля, що розвивається від цієї швидкості.

Тому пропонується розглядати індекс динамічності автомобілів, що входять в колону, не тільки при рушанні з місця, а й при заданій швидкості руху  $V_1$ . Надалі вважатимемо заданими всі параметри руху головної машини (автомобіля-лідера). Таким чином, індекс динамічності  $i$ -го автомобіля при рушанні з місця буде:

$$(q_i)_0 = \frac{(\dot{V}_{i \max})_0}{(\dot{V}_{1 \max})_0}. \quad (2)$$

Індекс динамічності  $i$ -го автомобіля при швидкості  $V_1 = V$ :

$$(q_i)_V = \frac{(\dot{V}_{i \max})_V}{(\dot{V}_{1 \max})_V}. \quad (3)$$

У рівняннях (2) і (3) прийняті такі позначення:  $(\dot{V}_{i \max})_0$  і  $(\dot{V}_{1 \max})_0$  – початкові максимальні лінійні прискорення  $i$ -го і головного автомобілів при рушанні з місця;  $(\dot{V}_{i \max})_V$  і  $(\dot{V}_{1 \max})_V$  – початкові максимальні лінійні прискорення  $i$ -го і головного автомобілів при  $V_1 = V$ .

Початкові лінійні прискорення автомобілів можуть бути визначені за такими залежностями:

$$(\dot{V}_{i \max})_0 = \frac{N_{e \max i}}{W_{N_i}} \cdot \frac{\eta_{mp_i}^{заг} \cdot U_{0_i} \cdot U_{\kappa 1_i}}{r_{\partial_i} \cdot M_{a_i}} - gf; \quad (4)$$

$$(\dot{V}_{1 \max})_0 = \frac{N_{e \max 1}}{W_{N_1}} \cdot \frac{\eta_{mp_1}^{заг} \cdot U_{0_1} \cdot U_{\kappa 1_1}}{r_{\partial_1} \cdot M_{a_1}} - gf; \quad (5)$$

$$(\dot{V}_{i \max})_V = \frac{N_e v_i}{W_e v_i} \cdot \frac{\eta_{mp_i}^{3a2} \cdot U_{0_i} \cdot U_{\kappa j_i}}{r_{\partial_i} \cdot M_{a_i}} - gf - \frac{C_{x_i} \cdot \zeta \cdot F_i}{2M_{a_i}} \cdot V_1^2; \quad (6)$$

$$(\dot{V}_{1 \max})_V = \frac{N_e v_1}{W_e v_1} \cdot \frac{\eta_{mp_1}^{3a2} \cdot U_{0_1} \cdot U_{\kappa j_1}}{r_{\partial_1} \cdot M_{a_1}} - gf - \frac{C_{x_1} \cdot \zeta \cdot F_1}{2M_{a_1}} \cdot V_1^2, \quad (7)$$

де  $N_{e_{\max i}}, N_{e_{\max 1}}$  – максимальні потужності  $i$ -го і головного автомобілів відповідно;  $W_{N_i}, W_{N_1}$  – кутові швидкості вала двигуна при  $N_{e_{\max i}}$  та  $N_{e_{\max 1}}$ ;  $\eta_{mp_i}^{3a2}, \eta_{tp_1}^{3a2}$  – загальні ККД трансмісії  $i$ -го і головного автомобілів;  $r_{\partial_i}, r_{\partial_1}$  – динамічні радіуси ведучих колес;  $U_{0_i}, U_{0_1}$  – передаточні числа головної передачі;  $U_{\kappa i}, U_{\kappa 1}$  – передаточні числа коробки передач на першій передачі;  $M_{a_i}, M_{a_1}$  – загальна маса автомобіля в спорядженому стані;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;  $f$  – коефіцієнт опору котінню;  $C_{x_i}, C_{x_1}$  – коефіцієнти лобового аеродинамічного опору.

У подальшому всі позначення з індексом  $i$  стосуватимуться  $i$ -го автомобіля в колоні, а з індексом 1 – головного.

$\zeta$  – щільність повітря;  $F_i, F_1$  – мідель (площа лобового опору автомобіля);  $V_1$  – швидкість руху головного автомобіля в колоні;  $N_e v_i, N_e v_1$  – максимальна потужність двигуна при швидкості  $V$ ;  $W_e v_i, W_e v_1$  – кутові швидкості колінчатого вала при потужностях  $N_e v_i, N_e v_1$  відповідно;  $U_{\kappa j_i}, U_{\kappa j_1}$  – передаточні числа коробок передач на передачах, які відповідають отриманню швидкості руху автомобіля  $V$ .

Рівняння (2) і (3) з урахуванням формул (4–7) матимуть вигляд:

$$(q_i)_0 = \frac{K_{M_i} \cdot \frac{N_{e_{\max i}}}{W_{N_i}} \cdot \frac{\eta_{mp_i}^{3a2} \cdot U_{0_i} \cdot U_{\kappa i}}{r_{\partial_i} \cdot M_{a_i}} - gf}{K_{M_1} \cdot \frac{N_{e_{\max 1}}}{W_{N_1}} \cdot \frac{\eta_{mp_1}^{3a2} \cdot U_{0_1} \cdot U_{\kappa 1}}{r_{\partial_1} \cdot M_{a_1}} - gf}; \quad (8)$$

$$(q_i)_V = \frac{K_{M_i} \cdot \frac{N_e v_i}{W_e v_i} \cdot \frac{\eta_{mp_i}^{3a2} \cdot U_{0_i} \cdot U_{\kappa j_i}}{r_{\partial_i} \cdot M_{a_i}} - gf - \frac{C_{x_i} \cdot \zeta \cdot F_i}{2M_{a_i}} \cdot V_1^2}{K_{M_1} \cdot \frac{N_e v_1}{W_e v_1} \cdot \frac{\eta_{mp_1}^{3a2} \cdot U_{0_1} \cdot U_{\kappa j_1}}{r_{\partial_1} \cdot M_{a_1}} - gf - \frac{C_{x_1} \cdot \zeta \cdot F_1}{2M_{a_1}} \cdot V_1^2}, \quad (9)$$

де  $K_{M_i}, K_{M_1}$  – коефіцієнти, які враховують ступінь завантаженості автомобіля.

$$K_{M_i} = \frac{M_{a_i}}{M_{a_i} + M_{rp_i}}; \quad (10)$$

$$K_{M_1} = \frac{M_{a_1}}{M_{a_1} + M_{rp_1}}, \quad (11)$$

де:  $M_{рп1}$  – маса вантажу (сума мас вантажу і людей, що перевозить автомобіль);  $K_{Ni}$ ;  $K_{N1}$  – коефіцієнти, що залежать від пробігу автомобіля і враховують зменшення тягової сили автомобіля в процесі експлуатації.

Маневреність автомобільної колони і динамічні властивості автомобілів, які входять в її склад, задаються динамічними властивостями головного автомобіля (автомобіля-лідера).

З метою забезпечення мінімальної довжини колони необхідно розставити автомобілі в колоні (за головною машиною) в порядку підвищення індексу динамічності. В цьому випадку вірогідність розтягування автомобільної колони в русі буде зведена до мінімуму.

Для прикладу розглянемо процес шиккування колони із 10 автомобілів, основні характеристики яких представлені в табл. 1.

Т а б л и ц я 1

*Основні характеристики автомобілів, які входять у склад колони*

Основні параметри автомобіля	Марка автомобіля										
	ВАЗ-212302 Шевроле-Нива	Toyota Land Cruiser	Богдан А-092	Богдан А-091	ПАЗ-3205	ПАЗ-32053-07	ГАЗ-3307	ГАЗ-66	ЗиЛ-5301	УАЗ-3303	
Повна маса $m_a$ , кг	1800	3260	8360	8100	7705	8080	7800	5800	6950	2650	
Висота $H$ , м	1,652	1,88	2,85	2,74	2,96	2,96	2,35	2,52	2,365	2,66	
Ширина $B$ , м	1,786	1,94	2,37	2,37	2,5	2,52	2,38	2,322	2,15	1,965	
Коефіцієнт опору повітря $K$	0,32	0,32	0,38	0,38	0,38	0,38	0,55	0,45	0,55	0,55	
Тип палива двигуна	бензин	бензин	дизельне	дизельне	бензин	дизельне	бензин	бензин	дизельне	бензин	
Максимальна потужність двигуна $N_{e\max}$ , кВт	58,5	175	107	89	96	90	87,5	84,6	77	55,9	
Частота обертання колінчатого вала $n(N_{e\max})$ , мин <sup>-1</sup>	5000	4800	2300	3200	3200	2400	2400	3200	2400	4000	
ККД трансмісії $\eta$	0,9	0,9	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,85	0,85	
Передаточні числа коробки передач	$i_1$	3,667	3,52	6,369	6,369	6,55	5,63	6,555	6,55	6,45	3,78
	$i_2$	2,1	2,04	3,767	3,767	3,09	2,64	3,933	3,09	3,56	2,6
	$i_3$	1,361	1,4	2,234	2,234	1,71	1,48	2,376	1,71	1,98	1,55
	$i_4$	1	1	1,442	1,442	1	1	1,442	1	1,275	1
	$i_5$	0,758	0,716	1	1	–	0,81	1	–	1	–
Головна передача $U_0$	3,9	4,1	4,1	4,1	6,17	5,5	6,17	6,83	3,273	4,625	
Динамічний радіус колеса	0,313	0,374	0,367	0,367	0,404	0,404	0,404	0,448	0,367	0,365	

Для кожного автомобіля необхідно визначити максимально можливе прискорення при рушанні на першій передачі і максимально можливе прискорення при русі зі швидкістю 40 км/год. Спочатку необхідно побудувати графік прискорення автомобіля на всіх передачах залежно від швидкості руху. Побудову графіка прискорення здійсним за стандартною методикою [4].

На рис. 1 представлені графіки прискорень на 1–5 передачах деяких автомобілів, які входять у склад колони, при повному їх завантаженні.

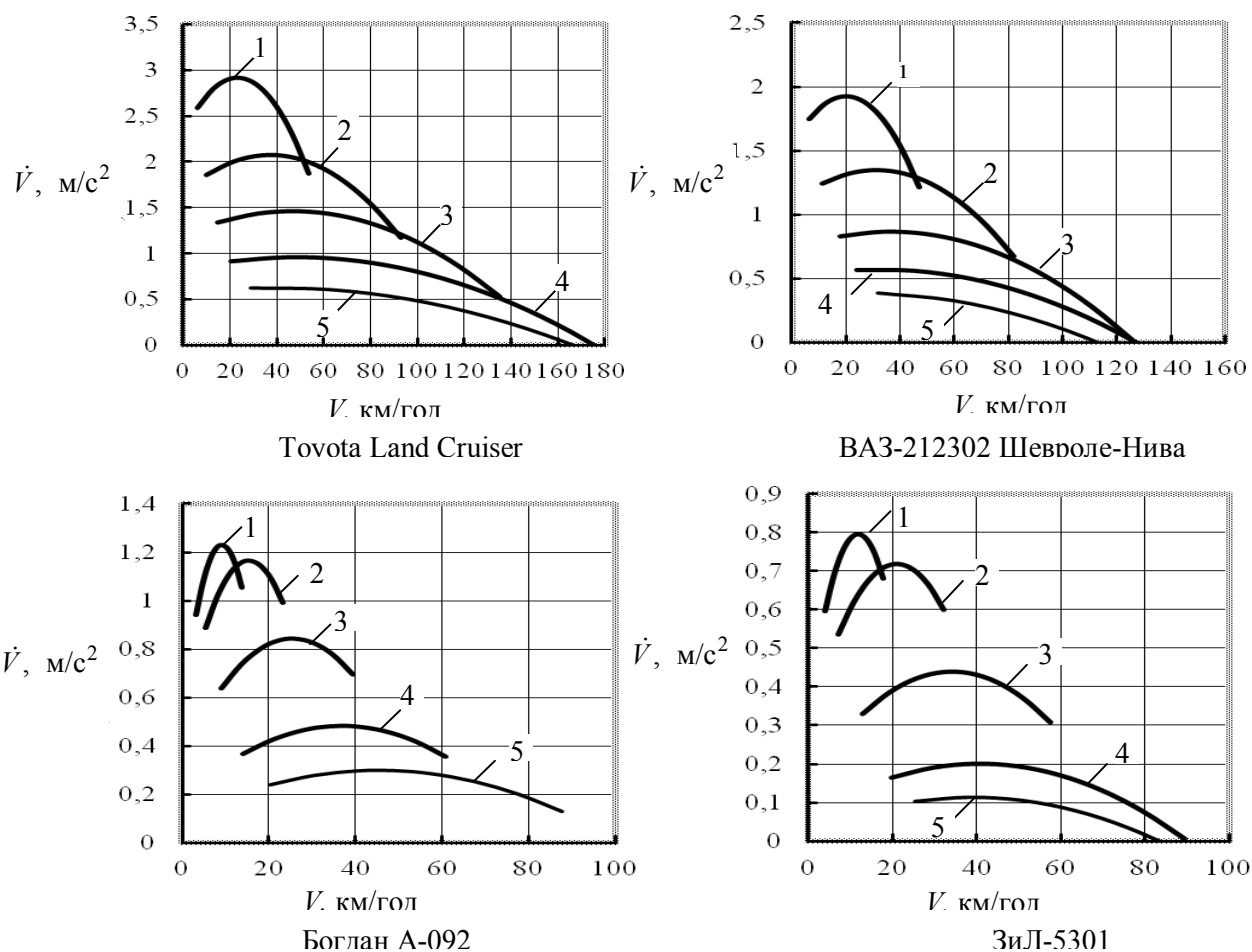


Рис. 1. Графіки прискорень деяких автомобілів залежно від швидкості їх руху на різних передачах: 1 – на першій передачі; 2 – на другій передачі; 3 – на третій передачі; 4 – на четвертій передачі; 5 – на п'ятій передачі

У результаті аналізу отриманих графіків прискорень кожного із автомобілів, які входять у склад колони, визначені максимально можливі прискорення при рушанні на першій передачі та максимально можливе прискорення для руху на швидкості 40 км/ч. Результати представлені у табл. 2.

Як автомобіль-лідер вибираємо автомобіль з найвищими динамічними характеристиками – головний автомобіль Toyota Land Cruiser. Індекс динамічності кожного автомобіля при рушанні з місця визначаємо за формулою (2) і записуємо в табл. 2. Індекс динамічності кожного автомобіля для випадку руху на швидкості  $V_1 = 40$  км/ч визначаємо за формулою (3) і також записуємо в табл. 2.

Т а б л и ц я 2

Динамічні параметри автомобілів, які входять у склад колони

Марка автомобіля	Максимальне прискорення на першій передачі $j_{max}$ , $m/s^2$	Прискорення при швидкості 40 км/ч $j$ , $m/s^2$	Індекс динамічності		Порядковий номер автомобіля з голови колони	
			при рушанні з місця $(q_i)_0$	при $V_1$ 40 км/ч $(q_i)_v$	за критерієм $(q_i)_0$	за критерієм $(q_i)_v$
VAZ-212302 Шевроле-Нива	1,92	1,25	0,660	0,619	10	10
Toyota Land Cruiser	2,91	2,02	1	1	1	1
Богдан А-092	1,23	0,44	0,423	0,218	4	8
Богдан А-091	0,74	0,39	0,254	0,193	2	5
ПАЗ-3205	1,38	0,42	0,474	0,208	7	7
ПАЗ-32053-07	1,27	0,3	0,436	0,149	6	3
ГАЗ-3307	1,238	0,355	0,425	0,176	5	2
ГАЗ-66	1,6	0,39	0,550	0,193	9	6
ЗіЛ-5301	0,8	0,37	0,275	0,183	3	4
УАЗ-3303	1,49	0,59	0,512	0,292	8	9

Розставимо автомобілі в колоні за головною машиною в порядку зростання  $(q_i)_0$  – індексу динамічності при рушанні з місця (рис. 2). Такій розстановці автомобілів необхідно надавати перевагу у випадку, якщо маршрут руху колони пролягає, здебільшого, в межах міста. В зв'язку з наявністю в місті великої кількості перехресть і учасників дорожнього руху на перший план виходять динамічні якості автомобілів при рушанні з місця і при розгоні на першій передачі.

Якщо маршрут руху колони пролягає за межами міста, то необхідно надавати перевагу розстановці автомобілів за головною машиною в порядку зростання  $(q_i)_V$  – індексу динамічності при русі зі швидкістю  $V_1 = 40$  км/ч (рис. 3).

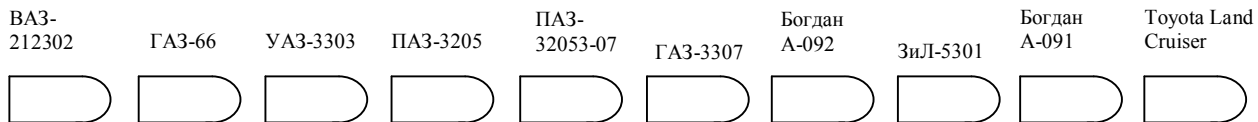


Рис. 2. Розташування автомобілів у колоні за критерієм збільшення індексу динамічності  $(q_i)_0$

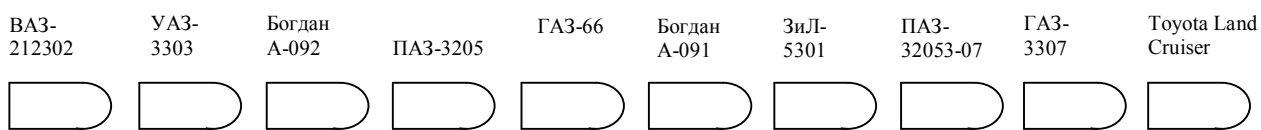


Рис. 3. Розташування автомобілів у колоні за критерієм збільшення індексу динамічності  $(q_i)_V$

За такого підходу до розстановки автомобілів вірогідність розтягування колони в русі буде зведена до мінімуму.

### Висновки

1. У результаті проведеного дослідження розроблений критерій оцінювання динамічних властивостей автомобілів, які знаходяться в колоні, та алгоритм вибору рухомого складу і порядку розміщення автомобілів у колоні з використанням запропонованого критерію.

2. Отримані результати варто використовувати надалі у проведенні експериментального дослідження динамічних якостей автомобілів, які рухаються в колоні.

### Список використаних джерел

1. Подригало, М. А. Оценка технического уровня по показателям динамических свойств автомобилей [Текст] / М. А. Подригало, Д. М. Клец, А. Н. Мостовая // Вісник Національного транспортного університету : науково-технічний збірник, 2012. – № 25. – С. 226 – 233.

2. Подригало, М. А. Маневреність та керованість автомобільних колон внутрішній військ МВС України. Визначення понять та критерії оцінювання [Текст] / М. А. Подригало, Р. О. Кайдалов, А. І. Нікорчук // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2012. – Вип. 2 (20). – С. 74 – 76.

3. Директива командувача внутрішніх військ МВС України “Про заходи щодо забезпечення безпеки руху на автомобільній техніці у внутрішніх військах МВС України” від 12.02.2003 № Д-78 [Копія] / ГУВВ МВС України. – К.

4. Алекса, Н. Н. Теория эксплуатационных свойств автотранспортных средств в примерах и заданиях [Текст] : учеб. пособие / Н. Н. Алекса, В. Н. Алексеенко, А. Б. Гредескул. – К. : УМК ВО, 1990. – 100 с.

*Стаття надійшла до редакції 10.10.2013 р.*