

УДК 629.017

М.А. Подригало¹, Д.В. Абрамов¹, С.А. Соколовський², А.І. Нікорчук²¹Харківський національний автомобільний університет, Харків²Національна академія Національної гвардії України, Харків

ШИКУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ КОЛОН ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ КРИТЕРІЄМ ДИНАМІЧНОСТІ

У статті запропонований новий критерій – інтегральний відносний індекс динамічності автомобілів, які входять до складу колони, який дозволяє визначити місце автомобіля в колоні у відповідності з його динамічними властивостями що реалізуються в заданому діапазоні швидкостей руху.

Ключові слова: автомобільна колона, автомобіль лідер, інтегральний відносний індекс динамічності, динамічні властивості автомобілів.

Вступ

Маневреність автомобільних колон визначається динамічними властивостями автомобілів які входять в її склад. Для запобігання розтягування колони при русі послідовність розстановки автомобілів повинна відповідати рівню динамічних властивостей кожного із них.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для оцінки маневреності автомобільних колон в роботі [1] запропоновані такі критерії як коефіцієнт зміни довжини колони $K_{дл}$ і час здійснення маневру $t_{ман}$, які визначаються по формулам

$$K_{дл} = \frac{L_{кmax}}{L_{кmin}}, \quad (1)$$

де $L_{кmax}$ – максимально можлива в процесі руху довжина автомобільної колони; $L_{кmin}$ – мінімально допустиме значення довжини автомобільної колони;

$$t_{ман} = \sum_{i=1}^n tp_i = \Delta V \sum_{i=1}^n a_i^{-1}, \quad (2)$$

де $t_{ман}$ – час виконання маневру «розгону» автомобільної колони; tp_i – час розгону i -го автомобіля; ΔV – величина збільшення швидкості руху колони; a_i – середнє прискорення i -го автомобіля при розгоні; n – кількість автомобілів в колоні.

Таким чином, технічний рівень автомобілів, які рухаються в колоні, їх динамічні властивості, суттєво впливають на час виконання маневру.

В роботі [2] запропонований показник динамічних властивостей, за допомогою якого можна оцінити технічний рівень автомобілів – «індекс динамічності», який визначається відношенням максимального начального прискорення автомобіля до аналогічного показника автомобіля, прийнятого за базовий зразок. В якості базового зразка приймався автомобіль-лідер, який має найбільше значення начального максимального лінійного прискорення серед других автомобілів, які були випущені в світі в рік який розглядається.

В роботі [3] в якості базового зразка запропоновано використовувати головний автомобіль колони (автомобіль начальника колони). Тоді індекс динамічності машин, які входять в колону, буде визначатися по формулі:

$$q_i = \frac{j_{i max}}{j_{1 max}}, \quad (3)$$

де $j_{i max}$ – максимальне прискорення автомобіля, який входить в склад колони; $j_{1 max}$ – максимальне прискорення автомобіля, який рухається в голові колони.

Розстановку автомобілів в колоні по критерію збільшення індексу динамічності запропоновано здійснювати при рушанні з місця або при русі зі швидкістю V .

Індекс динамічності i -го автомобіля при торганні з місця визначається по формулі [3]:

$$(q_i)_0 = (j_{i max})_0 / (j_{1 max})_0, \quad (4)$$

де $(j_{i\max})_0$ і $(j_{l\max})_0$ – початкове максимальне лінійне прискорення i -го і головного автомобілів при рушанні з місця.

Індекс динамічності i -го автомобіля при швидкості $V_1 = V$ визначається по формулі [3]

$$(q_i)_V = \frac{(j_{i\max})_V}{(j_{l\max})_V}, \quad (5)$$

де $(j_{i\max})_V$ і $(j_{l\max})_V$ – початкове максимальне лінійне прискорення i -го і головного автомобіля при $V_1 = V$.

Але запропоновані раніше критерії – індекси динамічності, дозволяють проводити порівняння динамічних властивостей автомобілів, які входять в колону при рушанні з місця, та при русі з постійною швидкістю. Тому виникла необхідність розробки критерію динамічних властивостей, який дозволить проводити їх оцінку в широкому діапазоні швидкостей руху, і за допомогою нього здійснювати розстановку автомобілів в колоні.

Метою статті є підвищення маневреності автомобільних колон шляхом раціонального їх шикування з урахуванням впливу швидкості на динамічні властивості автомобілів.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити такі задачі:

- оцінити вплив швидкості руху на величину індексу динамічності автомобілів в колоні;
- розробити інтегральний критерій оцінки динамічних властивостей автомобілів в колоні;
- розробити методику розміщення автомобілів в колоні по запропонованому інтегральному критерію.

Основний матеріал

Як показав аналіз публікацій, індекс динамічності автомобілів в колоні необхідно визначати не тільки при рушанні з місця і при русі з визначеною швидкістю $V_1 = V$, але і на протязі всього швидкісного діапазону руху автомобілів в колоні. Для цього необхідно визначити максимально можливе прискорення кожного автомобіля колони при поточному завантаженні і технічному стані в залежності від швидкості руху. Максимально можливе прискорення на різних швидкостях руху визначається по графіку прискорень, отриманому в результаті стандартного тягово-швидкісного розрахунку автомобіля [4] з урахуванням поточного завантаження і технічного стану, як показано на (рис. 1).

Максимально можливе прискорення автомобіля при русі на різних передачах, але з однаковою швидкістю – різне. Так, наприклад, для автобуса марки Богдан А-092 з повним завантаженням (рис.1) при русі зі швидкістю 30 км/год., максимальне прискорення на 3-й передачі складає $0,82 \text{ м/с}^2$, на 4-й

передачі – $0,47 \text{ м/с}^2$ (що в 1,74 рази менше), на 5-й передачі – $0,28 \text{ м/с}^2$ (що в 2,9 рази менше). Отримати аналітичну залежність максимально можливого прискорення автомобіля від швидкості його руху, без врахування необхідності вибору передачі, яка забезпечує максимальне значення прискорення, важко. Тому в алгоритм визначення максимально можливого прискорення автомобіля при русі на різних швидкостях, необхідно вводити умову забезпечення максимального значення прискорення при виборі передачі, на якій рухається автомобіль при поточному значенні швидкості. З урахуванням вищевказаного, для умов автомобільної колони, яка складається з 10-ти різнотипних автомобілів, по результатам їх тягово-швидкісного розрахунку, були отримані значення максимально можливого прискорення при русі з максимальним завантаженням на різних швидкостях (табл. 1).

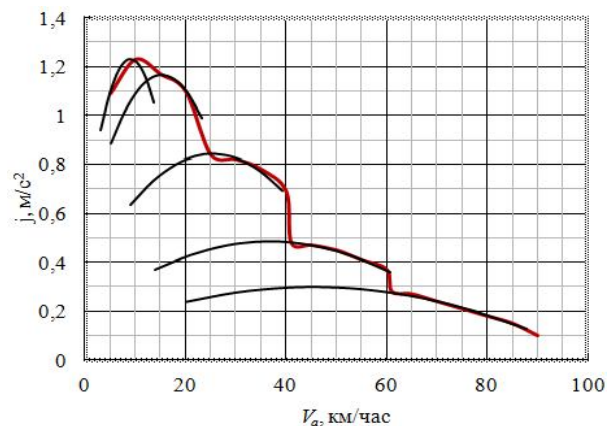


Рис. 1. Визначення максимально можливого прискорення автомобіля Богдан А-092 при різних швидкостях руху

На основі отриманих даних побудовані графіки залежності максимально можливого прискорення автомобілів, які входять в умовну колону від їх швидкості руху (рис. 2, 3).

В голові колони як правило рухається автомобіль з найкращими динамічними властивостями. Для умовної колони це автомобіль Toyota Land Cruiser. Такий автомобіль приймається за автомобіль-лідер і відносно нього визначаються індекси динамічності інших автомобілів які входять до складу колони при русі на різних швидкостях по формулі (3). По результатам розрахунків побудовані графіки залежності індексу динамічності автомобілів які входять в умовну колону з автомобілем-лідером Toyota Land Cruiser від швидкості їх руху (рис. 4).

Проводячи аналіз отриманих графіків (рис. 5), необхідно відмітити складну форму отриманих кривих, наявність локальних максимумів і мінімумів значення індексу динамічності. Автомобіль-лідер Toyota Land Cruiser суттєво перевершує по динамічним властивостям інші автомобілі, які входять в умовну колону, що відображається в низьких значеннях їх

Таблиця 1

Максимально можливе прискорення автомобілів з повним завантаженням, які входять в умовну колонну при різних швидкостях руху

Швидкість автомобіля V_a , км/ч	Максимальне прискорення автомобіля j_{max} , м/с ²									
	ВАЗ-212302 Шевроле-Нива	Toyota Land Cruiser	Богдан А-092	Богдан А-091	ПАЗ-3205	ПАЗ-32053-07	ГАЗ-3307	ГАЗ-66	ЗіЛ-5301	УАЗ-3303
5	1,7	2,57	1,09	0,58	1,38	1,12	1,23	1,6	0,64	1,35
10	1,82	2,72	1,23	0,72	1,27	1,26	1,2	1,48	0,78	1,46
15	1,9	2,84	1,17	0,73	1,2	0,96	1,14	1,4	0,76	1,49
20	1,92	2,9	1,1	0,68	1,12	0,98	0,95	1,31	0,72	1,46
25	1,9	2,91	0,84	0,67	0,96	0,91	0,85	1,12	0,7	1,37
30	1,83	2,87	0,82	0,61	0,74	0,58	0,77	0,87	0,63	1,2
35	1,71	2,78	0,78	0,46	0,7	0,58	0,63	0,82	0,44	1,09
40	1,54	2,6	0,69	0,45	0,63	0,54	0,45	0,75	0,43	0,99
45	1,33	2,39	0,47	0,43	0,57	0,5	0,41	0,67	0,42	0,86
50	1,27	2,1	0,45	0,39	0,47	0,44	0,37	0,55	0,37	0,7
55	1,2	1,99	0,41	0,35	0,31	0,29	0,31	0,37	0,34	0,55
60	1,14	1,92	0,37	0,2	0,28	0,27	0,25	0,34	0,17	0,48
65	1,06	1,85	0,27	0,18	0,26	0,23	0,21	0,3	0,16	0,4
70	0,96	1,76	0,24	0,17	0,22	0,2	0,17	0,27	0,13	0,31
75	0,85	1,65	0,21	0,15	0,18	0,13	0,13	0,22	0,1	0,23
80	0,72	1,54	0,18	0,12	0,14	0,1	0,08	0,17	0,07	0,12
85	0,62	1,4	0,15	0,08	0,09	0,07	0,04	0,11	0,04	0,01
90	0,57	1,25	0,1	0,01	0,04	0,03		0,05	0,01	
95	0,5	1,18								
100	0,44	1,12								

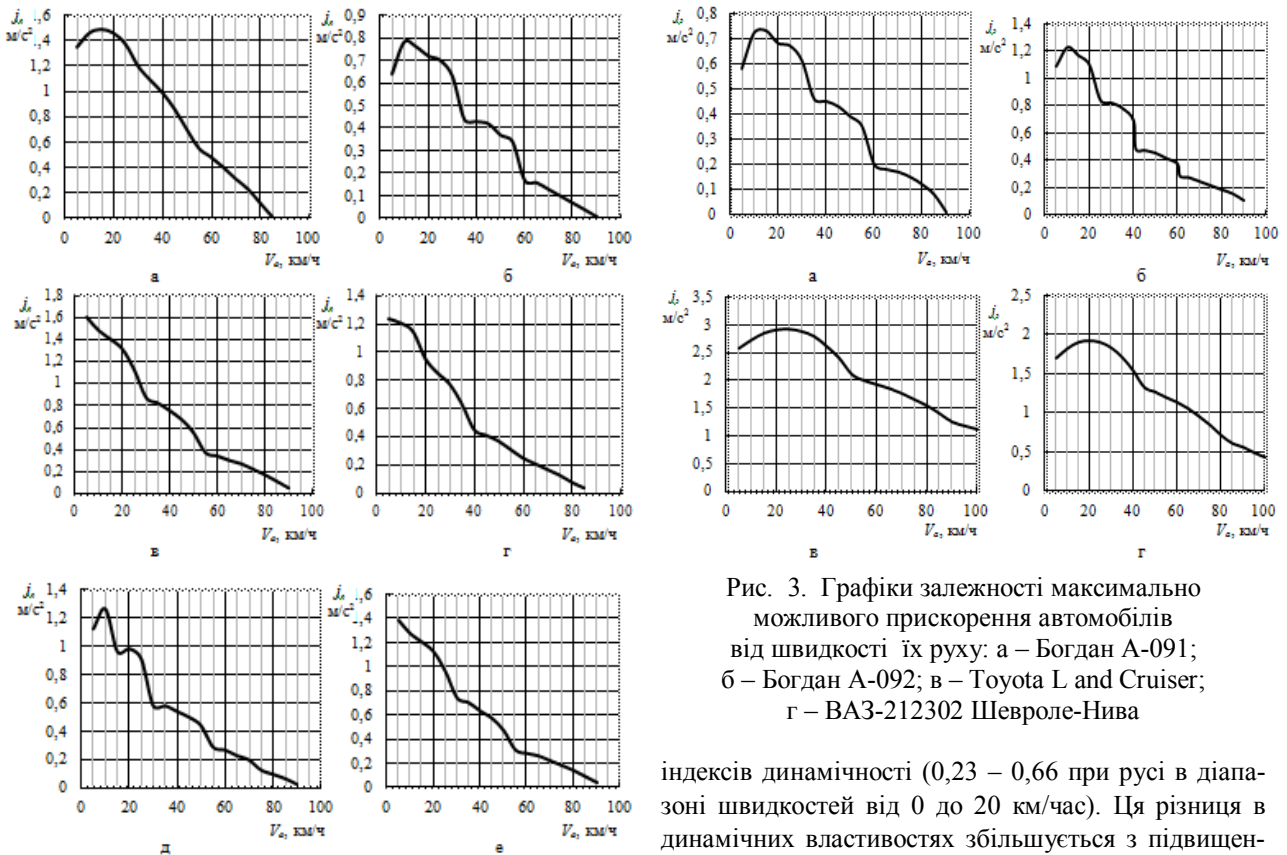


Рис. 2. Графіки залежності максимально допустимого прискорення автомобілів від швидкості їх руху: а – УАЗ-3303; б – ЗіЛ-5301; в – ГАЗ-66; г – ГАЗ-3307; д – ПАЗ-32053-07; е – ПАЗ-3205

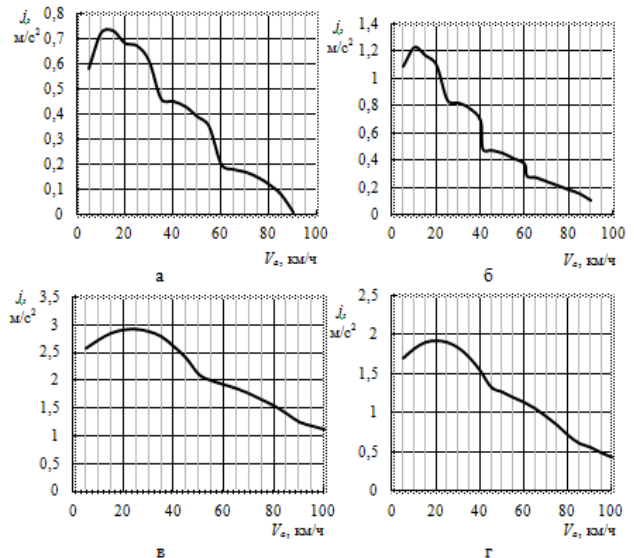


Рис. 3. Графіки залежності максимально можливого прискорення автомобілів від швидкості їх руху: а – Богдан А-091; б – Богдан А-092; в – Toyota L and Cruiser; г – ВАЗ-212302 Шевроле-Нива

індексів динамічності (0,23 – 0,66 при русі в діапазоні швидкостей від 0 до 20 км/час). Ця різниця в динамічних властивостях збільшується з підвищенням швидкості руху і значення індексів динамічності автомобілів які входять в колону зменшується (0,05 – 0,45 при русі зі швидкість 80 км/ч). Зі зміною швидкості руху автомобілів графіки їх індексів динамічності багаторазово пересікаються, що ус-

кладніше однозначну розстановку автомобілів в колоні з урахуванням їх динамічних властивостей, як це показано в роботі [3].

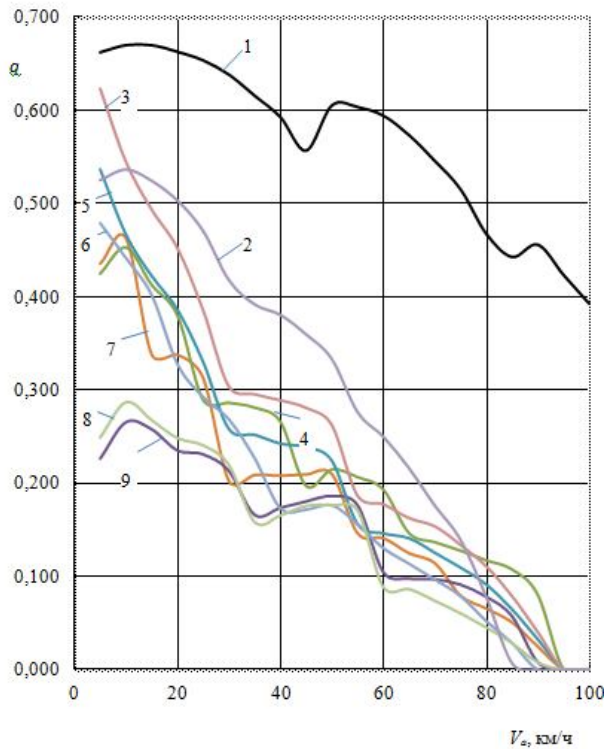


Рис. 4. Графіки залежності індексів динамічності від швидкості автомобілів в колоні з лідером Toyota Land Cruiser:
 1 – ВАЗ-212302 Шевроле-Нива; 2 – УАЗ-3303;
 3 – ГАЗ-66; 4 – Богдан А-092; 5 – ПАЗ-3205;
 6 – ГАЗ-3307; 7 – ПАЗ-32053-07;
 8 – ЗіЛ-5301; 9 – Богдан А-091

При різних швидкостях руху колони, оптимальна розстановка по критерію індексу динамічності буде різною. Але, перешикування колони в русі заборонено. Тому необхідно розставляти автомобілі в колоні з урахуванням значень індексів динамічності в визначеному діапазоні швидкостей руху колони, наприклад від 0 до 50 км/ч. У випадку, якщо в голові колони буде рухатись автомобіль з більш низькими динамічними властивостями, наприклад ВАЗ-212302 Шевроле-Нива, то характер зміни індексів динамічності зміниться в сторону збільшення значень (рис. 5). Не дивлячись на загальне збільшення значень індексів динамічності автомобілів, які входять в умовну колону (0,35 – 0,9 при русі в діапазоні швидкостей от 0 до 20 км/ч) тенденція їх зменшення зі збільшенням швидкості руху зберігається (0,097 – 0,25 при русі зі швидкістю 80 км/ч), що пояснюється збереженням суттєвої переваги в динамічних властивостях на високих швидкостях руху легкового автомобіля – лідера ВАЗ-212302 Шевроле-Нива над іншими автомобілями (вантажними і автобусами), які входять в умовну колону.

Графіки на рис. 5 також багаторазово перетинаються, що утруднює однозначну розстановку автомобілів в колоні по критерію індексу динамічності.

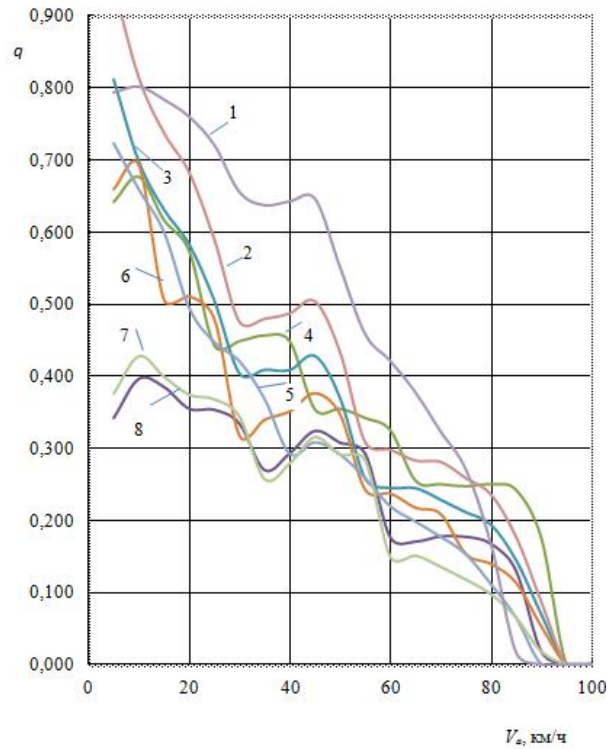


Рис. 5. Графіки залежності індексів динамічності від швидкості автомобілів в колоні з лідером ВАЗ-212302 Шевроле-Нива:
 1 – УАЗ-3303; 2 – ГАЗ-66; 3 – ПАЗ-3205;
 4 – Богдан А-092; 5 – ГАЗ-3307;
 6 – ПАЗ-32053-07; 7 – ЗіЛ-5301;
 8 – Богдан А-091

Розглянемо 3-й випадок, коли в голові колони рухається автомобіль-лідер з динамічними властивостями які незначно переважають аналогічні показники автомобілів, які входять в колонну. На рисунку 6 представлені графіки залежності індексу динамічності автомобілів, які входять в колонну з автомобілем-лідером УАЗ-3303.

Проводячи аналіз графіків, які представлені на рис. 6, можна зробити наступні висновки. Графіки зміни індексу динамічності від швидкості при автомобілі-лідері з зіставленими динамічними властивостями мають ярко виражені локальні максимуми і мінімуми, а загальну тенденцію зміни параметра виявити не представляється можливим.

У всьому діапазоні швидкостей руху автомобілів, які входять в умовну колону з головним автомобілем УАЗ-3303 індекси їх динамічності не опускаються нижче 0,35, а в діапазоні швидкостей від 20 км/ч до 70 км/ч індекси динамічності більшості автомобілів виходять за межі коридору, обмеженого значеннями 0,4 і 0,8.

При високих швидкостях руху автомобілів, порядку 70-80 км/ч, індекси динамічності прагнуть до

1, що обумовлено низькими показниками динамічних властивостей автомобіля - лідера УАЗ-3303 в даному діапазоні швидкостей.

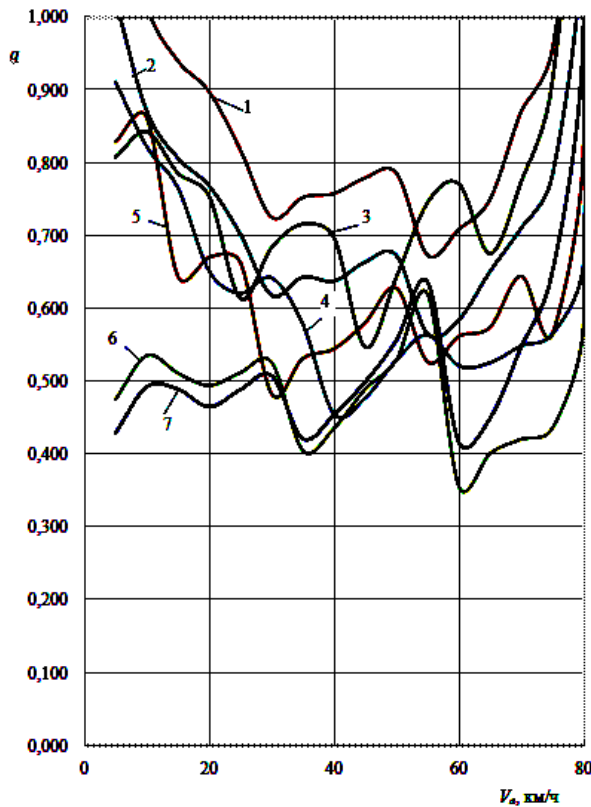


Рис. 6. Графіки залежності індексів динамічності від швидкості автомобілів в колоні з лідером УАЗ-3303: 1 – ГАЗ-66; 2 – ПАЗ-3205; 3 – Богдан А-092; 4 – ГАЗ-3307; 5 – ПАЗ-32053-07; 6 – ЗіЛ-5301; 7 – Богдан А-091

Як і в попередніх двох випадках, графіки індексу динамічності автомобілів, які входять в колонну багаторазово перетинаються.

Розробка інтегрального критерію оцінки динамічних властивостей в колоні. Для отримання параметра, який характеризує динамічні властивості сукупності автомобілів, які рухаються за автомобілем-лідером, визначене математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення індексів динамічності при різних швидкостях руху по таким формулам:

$$q_{cp} = \sum_{i=1}^{n-1} q_i / (n-1); \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (q_i - q_{cp})^2 / (n-1)}. \quad (7)$$

Побудовані графіки залежності математичного сподівання q_{cp} і середньоквадратичне відхилення σ індексів динамічності автомобілів, які входять в колонну з різними автомобілями-лідерами від швидкості руху (рис. 7 – 9).

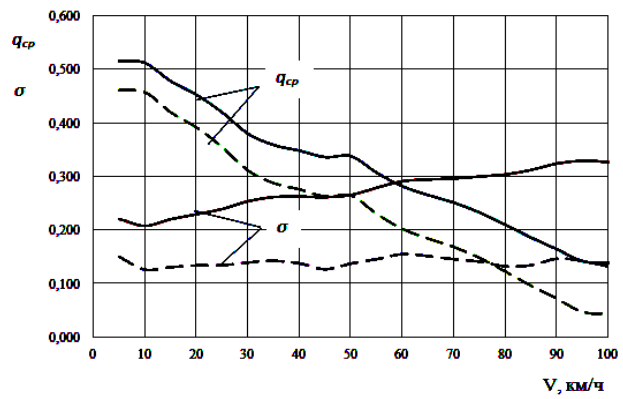


Рис. 7. Графіки залежності математичного сподівання q_{cp} і середньоквадратичного відхилення σ індексів динамічності від швидкості автомобілів в колоні з лідером Toyota Land Cruiser: — з урахуванням автомобіля – лідера; - - - без урахування автомобіля – лідера

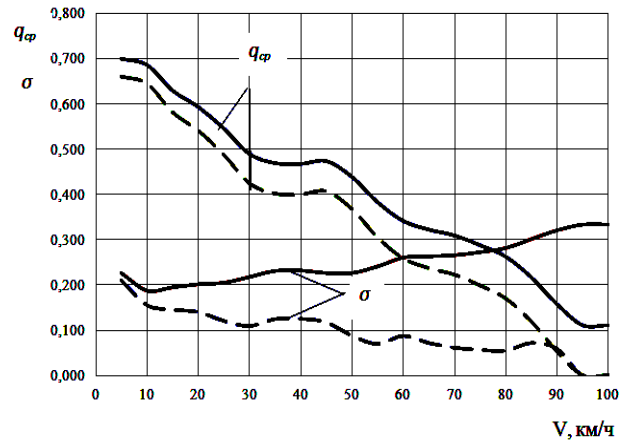


Рис. 8. Графіки залежності математичного сподівання q_{cp} і середньоквадратичного відхилення σ індексів динамічності від швидкості автомобілів в колоні з лідером ВАЗ-212302 Шевроле-Нива: — з урахуванням автомобіля – лідера; - - - без урахування автомобіля – лідера

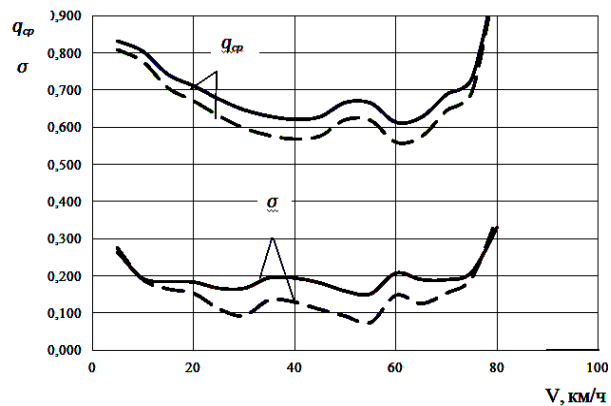


Рис. 9. Графіки залежності математичного сподівання q_{cp} і середньоквадратичного відхилення σ індексів динамічності від швидкості автомобілів в колоні з лідером УАЗ-3303: — з урахуванням автомобіля – лідера; - - - без урахування автомобіля – лідера

На вказаних графіках чітко простежується локальний пік q_{cp} в районі 45 – 50 км/ч. Цей пік обумовлений конструкціями коробок передач автомобілів, які входять в умовну колону. В даному діапазоні швидкостей автомобілі можуть прискорюватися на пониженій 3-й передачі, що забезпечить відносно високе значення індексу динамічності. Таким чином, при русі колони в діапазоні швидкостей 45 – 50 км/ч, динамічні властивості автомобілів, які входять в колону, а значить и маневреність колони локально підвищується.

Як було зазначено раніше, однозначно розставити автомобілі в колоні по індексу динамічності складно. Для цього пропонується при шикванні колони використовувати інтегральний відносний показник динамічних властивостей автомобіля в колоні (інтегральний відносний індекс динамічності), який визначається як відношення площі під графіком залежності індексу динамічності автомобіля від швидкості руху на інтервалі між мінімальною і максимальною швидкостями руху колони до різниці цих швидкостей:

$$Q_i = \int_{V_{amin}}^{V_{amax}} q_i \cdot dV / (V_{amax} - V_{amin}) \quad (8)$$

де V_{amin} , V_{amax} – відповідно мінімальна і максимальна швидкості руху автомобілів в колоні (границі діапазону зміни швидкості руху колони). У випадку, коли мінімальна швидкість руху автомобілів в колоні приймається рівною нулю, то формула (8) прийме вигляд:

$$Q_i = \int_0^{V_{amax}} q_i \cdot dV / V_{amax}, \quad (9)$$

Розробка методики розміщення автомобілів в колоні по інтегральному критерію. В табл. 2

представлені дані, а на рис. 10 – графіки зміни інтегрального відносного індексу динамічності автомобілів Q при різній максимальній швидкості руху на маршруті, отримані з використанням виразу (8).

Автомобілі в колоні необхідно розміщувати за автомобілем-лідером в порядку збільшення величини інтегрального відносного індексу динамічності. Тоді автомобілі з меншими динамічними властивостями будуть розташовуватись в голові колони, а автомобілі з кращими динамічними властивостями будуть розташовуватись в хвості колони, що знизить вірогідність її розтягування.

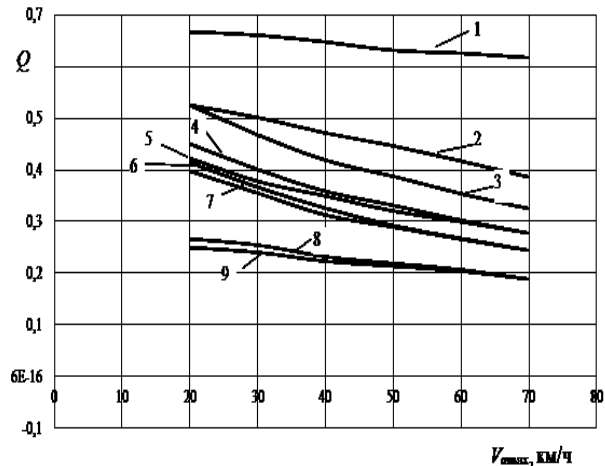


Рис. 10. Графіки зміни інтегрального відносного індексу динамічності автомобілів при різній максимальній швидкості руху на маршруті автомобілів, які входять в колону з лідером Toyota Land Cruiser (мінімальна швидкість руху автомобілів на маршруті $V_{amin}=5$ км/ч):
1 – ВАЗ-212302 Шевроле-Нива; 2 – УАЗ-3303;
3 – ГАЗ-66; 4 – ПАЗ-3205; 5 – Богдан А-092;
6 – ГАЗ-3307; 7 – ПАЗ-32053-07;
8 – ЗіЛ-5301; 9 – Богдан А-091

Таблиця 2

Інтегральні відносні індекси динамічності Q автомобілів в колоні при різних інтервалах швидкостей руху

Інтервал швидкості руху автомобілів $V_{amin} - V_{amax}$, км/ч	Індекс динамічності, q_i									
	ВАЗ-212302 Шевроле-Нива	Toyota Land Cruiser	Богдан А-092	Богдан А-091	ПАЗ-3205	ПАЗ-32053-07	ГАЗ-3307	ГАЗ-66	ЗіЛ-5301	УАЗ-3303
5 – 20	0,67	1	0,42	0,25	0,45	0,40	0,42	0,52	0,27	0,53
5 – 30	0,66	1	0,38	0,24	0,40	0,35	0,37	0,47	0,26	0,50
5 – 40	0,65	1	0,35	0,22	0,36	0,31	0,33	0,42	0,23	0,47
5 – 50	0,63	1	0,32	0,21	0,33	0,29	0,30	0,39	0,22	0,45
5 – 60	0,63	1	0,30	0,20	0,30	0,27	0,27	0,35	0,21	0,42
5 – 70	0,621	1	0,28	0,19	0,28	0,24	0,24	0,32	0,19	0,36

В якості параметра, який характеризує динамічні властивості колони в цілому, пропонується середній відносний показник динамічних властивостей автомобілів в колоні по відношенню до лідера, який визначається по формулі

$$Q_{cp} = \sum_{i=1}^{n-1} Q_i / (n-1). \quad (10)$$

При визначенні Q_{cp} не треба враховувати інтегральний відносний індекс динамічності автомобіля-

лідера, так як він завжди буде рівним одиниці (рис. 11). Чим більше Q_{cp} , тим ближче динамічні пока-

зники автомобілів, які входять в колонну, до динамічних показників автомобіля-лідера.

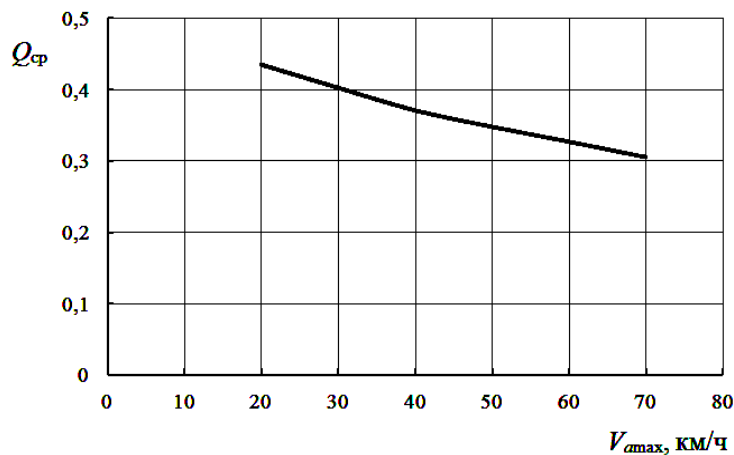


Рис. 11. Графік залежності середнього інтегрального відносного індексу динамічності від максимальної швидкості руху на маршруті автомобілів, які входять в колонну з лідером Toyota Land Cruiser (мінімальна швидкість руху автомобілів на маршруті $V_{amin} = 5$ км/ч).

Висновки

1. Запропонований раніше критерій – індекс динамічності автомобіля, який входить в колонну, не дозволяє врахувати зміну динамічних властивостей машин при зміні швидкості руху колони. Це може привести до розтягування колони в русі при частій зміні швидкості.

2. Запропонований критерій – інтегральний відносний індекс динамічності дозволяє врахувати вплив змінного швидкісного режиму на раціональну розстановку автомобілів в колоні. На основі вказаного критерію запропонована методика розстановки машин, дозволяє підвищити маневреність автомобільних колон за рахунок запобігання їх розтягування.

Список літератури

1. Подригало М.А. Маневреність та керування автомобільних колон внутрішніх військ МВС України. Визначення понять та критерії оцінювання / М.А. Подригало, Р.О. Кайдалов, А.І. Нікорчук // Збірник наукових

праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2012. – Вип. 2 (20). – С. 74 – 76.

2. Подригало М.А. Оцінка технічного рівня по показателям динамічних свойств автомобілей / М.А. Подригало, Д.М. Клец, А.Н. Мостовая // Вісник Національного транспортного університету: науково-технічний збірник, 2012. – №25. – С. 226-233.

3. Подригало М.А. Раціональне ішування автомобільних колон внутрішніх військ за критерієм динамічності / М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, А.І. Нікорчук // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2013. – Вип. 2(22). – С. 61 – 67.

4. Алекса Н.Н. Теория эксплуатационных свойств автотранспортных средств в примерах и заданиях: Учеб. Пособ. / Н.Н. Алекса, В.Н. Алексеевко, А.Б. Гредескул. – К.: УМК ВО, 1990. – 100 с.

Надійшла до редколегії 20.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.К. Шаша, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

ПОСТРОЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛОН ПО ИНТЕГРАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ ДИНАМИЧНОСТИ

М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, С.А. Соколовський, А.И. Никорчук

Рассматривается интегральный относительный индекс динамичности автомобилей, которые движутся в составе колонны.

Ключевые слова: автомобильная колонна, автомобиль лидер, интегральный относительный индекс динамичности, динамические свойства автомобилей.

BUILDING A ROAD TO COLON INTEGRAL CRITERION DYNAMISM

M.A. Podrigalo, D.V. Abramov, S.A. Sokolovsky, A.I. Nikorchuk

An integral relative index of dynamic vehicles that move in convoys.

Keywords: motor-car column, a car is a leader, integral relative index of dynamic quality, dynamic properties of cars.