УДК 629.017

М. А. Подригало, В. В. Глущенко, Р. О. Кайдалов, А. І. Нікорчук

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ВІЙСЬКОВИХ АВТОМОБІЛЬНИХ КОЛОН ПРИ ПОДОЛАННІ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ДІЛЯНКИ ДОРОГИ

У статті запропонований спосіб визначення раціональної швидкості руху автомобільних колон та дистанції між автомобілями під час руху частин та підрозділів Національної гвардії України через небезпечні ділянки доріг в зоні проведення антитерористичної операції.

К л ю ч о в і с л о в а : автомобільна колона, раціональна швидкість руху, дистанція.

Постановка проблеми. Аналіз використання автомобілів та бойових машин (АБМ) підрозділів Національної гвардії України та інших силових структур, які залучаються до виконання службово-бойових завдань у зоні проведення АТО показує, що перевезення особового складу (бойових підрозділів, груп), матеріальних засобів, поранених здійснюється у складі автомобільних колон через небезпечні ділянки доріг (ділянки, які обстрілюються).

У друкованих джерелах під небезпечними ділянками доріг розуміють: звуження проїзної частини, свіжоукладене покриття дороги, смоляне і гравійне покриття, спуски, підйоми, під'їзди до залізничних переїздів, інші небезпечні ділянки доріг [1]. При їх подоланні необхідно знижувати швидкість та збільшувати дистанцію між автомобілями. У зоні проведення АТО до небезпечних ділянок доцільно віднести також ті ділянки дороги, які можуть бути обстріляні терористами із стрілецької та іншої зброї, що ускладнить або унеможливить рух автомобільної колони. В такому випадку слід збільшувати швидкість її руху та змінювати дистанцію між автомобілями з метою швидкого подолання небезпечної ділянки. Тому дослідження раціональної швидкості руху автомобільної колони у такій ситуації є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема руху автомобілів у колоні нероздільно пов'язана із забезпеченням безпеки руху та пропускною здатністю автомобільних доріг.

Зазначена проблема виникла ще у 50-ті роки минулого сторіччя в Каліфорнії (США) [2] і була обумовлена збільшенням кількості автомобілів та швидкості їх руху. Це призвело до появи нового виду автомобільних катастроф, у які через відсутність належної підготовки водіїв, перевищення швидкості руху та недостатню дистанцію потрапляло іноді до 14 автомобілів [2]. Сьогодні ця цифра ще більше. Тому проблема напруженого руху автомобілів у колоні і привернула увагу значної кількості дослідників [2–5]. Їх значною мірою цікавили шляхи підвищення пропускної здатності автомобільної дороги водночас із забезпеченням безпечної дистанції руху. Пропускна здатність автомобільної дороги визначається за такою формулою [2, 3]:

$$N = 1000\frac{V}{T_{v_i}}\ , \tag{1}$$

де V – швидкість руху, км/год; T_{v_i} – дистанція між двома автомобілями в колоні, м.

Дистанція між двома автомобілями в колоні може бути визначена як [3]

$$T_{v_i} = l_{r_i} + S_{T_i} + l_з\,, \tag{2}$$

де l_{r_i} та S_{T_i} – габаритна довжина і гальмівний шлях автомобіля, що рухається слідом; $l_з$ – запас відстані між автомобілями, $l_з$ = 5 м [3].

Гальмівний шлях *i*-го автомобіля

$$S_{T_i} = V \cdot \eta_{c_i} + \frac{V^2}{2g\varphi_x \cdot M_{x_i}}\,, \tag{3}$$

де V – швидкість руху, м/с; η_{c_i} – час спрацьовування гальмівної системи *i*-го автомобіля, с; g – прискорення сили тяжіння, g = 9,81 м/с ²; φ_x – поздовжній коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою; M_{x_i} – коефіцієнт використання зчіпної ваги при гальмуванні *i*-го автомобіля [6].

У праці [2] досліджено вплив швидкості руху на пропускну здатність автомобільних доріг і визначена максимальна величина пропускної здатності дороги, яка знаходиться в межах зміни

© М. А. Подригало, В. В. Глущенко, Р. О. Кайдалов, А. І. Нікорчук

швидкості $V =$ 20… 40 км/год. Однак у відомих дослідженнях не розглянуто час подолання організованою (військовою) автомобільною колоною небезпечної ділянки дороги.

Мета статті – визначення раціональної швидкості руху автомобільних колон та дистанції між автомобілями під час подолання небезпечних ділянок доріг.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити мінімальний час проходження колоною небезпечної ділянки.

Виклад основного матеріалу. Час, що минув з моменту виходу першого автомобіля з вихідного пункту до моменту прибуття в кінцевий пункт останнього автомобіля, є характеристикою маневреності автомобільної військової колони. Цей час (назвемо його часом здійснення маршу $t_{марш}$) може бути визначений таким чином:

$$t_{марш} = \frac{S_{марш} + L_k}{V}, \tag{4}$$

де $S_{марш}$ – довжина маршруту руху колони, м; V – середня швидкість руху автомобільної колони, м/с; L_k – довжина автомобільної колони [7].

Остання величина визначається за формулою

$$L_k = l_{r_1} + \sum_{i=2}^{n-1} T_{v_i}, \tag{5}$$

де l_{r_1} – габаритна довжина головного автомобіля у колоні; n – число автомобілів у колоні.

Таким чином, час здійснення маршу можна визначити, підставляючи в рівняння (4) співвідношення (5), з урахуванням виразів (2) і (3). У результаті отримаємо:

$$t_{марш} = \frac{S_{марш} + \sum_{i=1}^{n} l_{r_i} + l_з (n-1)}{V} + \sum_{i=2}^{n-1} \eta_{c_i} + \frac{V}{2g\varphi_x} \sum_{i=2}^{n-1} M_{x_i}^{-1}. \tag{6}$$

Час проходження небезпечної ділянки маршруту можна визначити з формули (6), замінюючи $S_{марш}$ на довжину небезпечної ділянки $S_{небез}$:

$$t_{небез} = \frac{S_{небез} + \sum_{i=1}^{n} l_{r_i} + l_з (n-1)}{V} + \sum_{i=2}^{n-1} \eta_{c_i} + \frac{V}{2g\varphi_x} \sum_{i=2}^{n-1} M_{x_i}^{-1}. \tag{7}$$

Час проходження колоною контрольного пункту можна визначити з формули (6), прийнявши $S_{небез} = 0$. У цьому випадку отримаємо:

$$t_{контр} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_{r_i} + l_з (n-1)}{V} + \sum_{i=2}^{n-1} + \frac{V}{2g\varphi_x} \sum_{i=2}^{n-1} M_{x_i}^{-1}. \tag{8}$$

Функція $t_{контр}$ (V) має мінімум, який визначається з умов:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial t_{контр}}{\partial V} = 0; & (9) \\ \dfrac{\partial^2 t_{контр}}{\partial V^2} < 0. & (10) \end{cases}$$

Середня швидкість руху, за якої $t_{контр} = (t_{контр})_{\min}$ дорівнює:

$$V_{\text{opt}_1} = \sqrt{2g\varphi_x \frac{\sum_{i=1}^{n} l_{r_i} + l_3 (n-1)}{\sum_{i=2}^{n-1} M_{x_i}^{-1}}}. \tag{11}$$

За припущення, що при гальмуванні повністю використовується зчіпна вага всіх автомобілів, що входять в колону, отримаємо:

$$\sum_{i=2}^{n-1} = n-1\,. \tag{12}$$

Тоді рівняння (11) спроститься:

$$V_{\text{opt}_1} = \sqrt{2g\varphi_x\left(l_з + \frac{\sum_{i=1}^{n} l_{r_i}}{n-1}\right)}\,. \tag{13}$$

Під знаком кореня вираз

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} l_{r_i}}{n-1} \approx \overline{l_r}\,, \tag{14}$$

де $\overline{l_r}$ – середня габаритна довжина автомобілів, що входять в колону.

Підставляючи вираз (14) у формулу (13), отримаємо:

$$V_{\text{opt}_1} = \sqrt{2g\varphi_x\left(l_3 + \overline{l_r}\right)}\,. \tag{15}$$

Якщо у рівнянні (7) ввести коефіцієнт відносної довжини небезпечної ділянки

$$K_{небез} = \frac{S_{небез}}{\sum_{i=1}^{n} l_{r_i}}\,, \tag{16}$$

то воно, з урахуванням виразу (12), набере такого вигляду:

$$t_{небез} = \frac{\left(K_{небез}+1\right)\sum_{i=1}^{n} l_{r_i} + l_з\left(n-1\right)}{V} + \sum_{i=2}^{n-1}\eta_{c_i} + \frac{V}{2g\varphi_x}\left(n-1\right). \tag{17}$$

Рівняння (13), враховуючи формулу (17), перетворюється на таке:

$$V_{\text{opt}_2} = \sqrt{2g\varphi_x\left(l_3 + \frac{K_{небез}+1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} l_{r_i}\right)}\,. \tag{18}$$

Враховуючи співвідношення (14), отримаємо

$$V_{\text{opt}_2} = \sqrt{2g\varphi_x\left[l_з + \overline{l_r}\left(K_{небез}+1\right)\right]}\,. \tag{19}$$

Припускаючи, що рух відбувається по дорозі з твердим асфальтобетонним покриттям при φ_x = 0,8 та підставляючи значення g і $l_з$, спростимо вираз (19) до вигляду

$$V_{\text{opt}_2} = 8{,}85\sqrt{1+0{,}2\overline{l_r}\left(K_{небез}+1\right)}\,,\ \text{м/с} \tag{20}$$

або

$$V_{\text{opt}_2} = 31{,}89\sqrt{1+0{,}2\overline{l_r}\left(K_{небез}+1\right)}\,,\ \text{км/год}, \tag{21}$$

де 0,2 – коефіцієнт , який дорівнює $l_з^{-1}$, м$^{-1}$.

На рисунку наведено графік залежності V_{opt_2} від параметра

$$P = \overline{l_r}\left(K_{небез}+1\right),\ \text{м}. \tag{22}$$

Аналіз графіка показує, що зі збільшенням параметра P відбувається збільшення раціональної швидкості V_{opt_2}. Обмежувати цю швидкість можуть або дорожні умови, або максимальна ефективна потужність двигунів, встановлених на автомобілях колони.

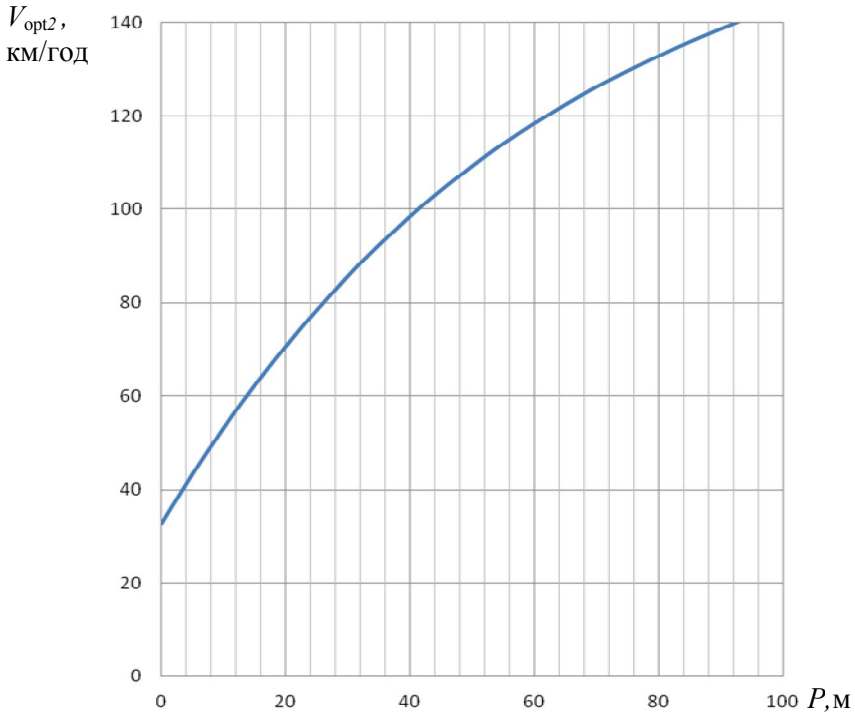

Рис. Залежність V_{opt_2} від параметра P

Для всього маршруту руху

$$K_{марш} = \frac{S_{марш}}{\sum_{i=1}^{n} l_{r_i}}. \tag{23}$$

Цьому випадку відповідають великі значення параметра P і величина раціональної швидкості V_{opt_2}, яка значно перевищує швидкість руху, що можуть реалізувати автомобілі колони.

Дистанція між автомобілями в колоні

$$Д_i = \delta_{t_i} + l_з. \tag{24}$$

Підставляючи вираз (3) у формулу (24), для $V = V_{opt_2}$ за виразом (20), після перетворення отримаємо при $\eta_{c_i} = 0,6$ с [8], $g = 9,81$ м/с^2 і $\varphi_x = 0,8$ дистанцію, однакову для всіх автомобілів, що входять в колону:

$$Д_i = 5\left[2 + 0,2\overline{l_r}\left(K_{on} + 1\right) + 1,06\sqrt{1 + 0,2\overline{l_r}\left(K_{on} + 1\right)}\right]. \tag{25}$$

Висновки

1. Отримані аналітичні вирази дозволяють розрахувати раціональну швидкість руху автомобільної колони і дистанцію між машинами, за умови мінімального часу проходження небезпечної ділянки дороги відомої довжини.
2. Існує необхідність коригування чинних нормативних документів з метою збільшення допустимих максимальних швидкостей руху автомобільних колон на окремих небезпечних ділянках дороги.
3. Отримані результати дозволяють уточнити запас потужності двигунів, необхідний для реалізації підвищених швидкостей руху, що слід враховувати у проектуванні нових армійських автомобілів.

Список використаних джерел

1. Збірник лекцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://lektsiopedia.org/ukr/lek-2296.html. – Назава з екрана.

2. Янше, А. Механика движения автомобиля [Текст] / А. Янше. – М. : Гостехиздат, 1958. – 263 с.

3. Говорущенко, Н. Я. Основы теории эксплуатации автомобилей [Текст] / Н. Я. Говорущенко. – К. : Вища шк., 1971. – 232 с.

4. Лагунов, Л. Я. Влияние эфективности работы тормозной системы на эксплуатационные показатели автомобиля [Текст] / Л. Я. Лагунов, М. А. Подригало // Автомобильный транспорт : республиканский межведомственный науч.-техн. сб. – К. : Техника, 1977. – № 14. – С. 83–86.

5. Лагунов, Л. Я. Влияние эффективности торможения автомобиля при повороте на пропускную способность дороги [Текст] / Л. Я. Лагунов, Г. С. Прохорова, М. А. Подригало // Автомобильный транспорт : республиканский межведомственный науч.-техн. сб. – К. : Техника, 1982. – № 19. – С. 111–116.

6. Булгаков, Н. А. Исследование динамики торможения автомобиля [Текст] / Н.А Булгаков, А. Б. Гредескул, С. И. Ломака // Научное сообщение. – Х. : Изд-во Харьк. ун-та. – 1962. – № 18. – С. 2.

7. Подригало, М. А. Маневреність та керованість автомобільних колон внутрішніх 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. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2012. – Вип. 2(20). – С. 74–76.

8. ГОСТ 22895-77. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Технические требования [Текст]. – Введ. 1981–01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 19 с.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2015 р.