

УДК 629.017



С. А. Соколовский



М. А. Подригало



Д. М. Клец



Р. О. Кайдалов



А. И. Никорчук

## ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ КОЛОНН НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ УКРАИНЫ ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*В статье проведено исследование путей повышения маневренности и управляемости колонн Национальной гвардии Украины. Рассмотрено использование беспилотных автомобилей с комбинированным (гибридным) приводом ведущих колес при движении в колонне. Проведена оценка повышения маневренности автомобильной колонны с беспилотными машинами.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильная колонна, маневренность, управляемость, беспилотные автомобили, комбинированный привод ведущих колес.*

**Постановка проблемы.** Результативность выполнения операций в рамках служебно-боевой деятельности частей и подразделений Национальной гвардии Украины зависит от времени, затрачиваемого на перемещение войск. Перемещение автомобильной колонны из начального в конечный пункт должно происходить за минимальное время и при минимально допустимой по условиям безопасности длине колонны, которая зависит от скорости движения колонны, поскольку дистанция между автомобилями зависит от тормозного пути и указанной скорости.

Применение беспилотных автомобилей позволяет не только уменьшить длину колонны и увеличить ее скорость, но и улучшить управляемость колонны при выполнении различных маневров, связанных с изменением параметров и траектории движения. Удобнее всего беспилотные автомобили оборудовать комбинированным (гибридным) электромеханическим приводом ведущих колес, так как управлять дистанцией между автомобилями и скоростью их движения проще с использованием электропривода.

**Анализ исследований и публикаций.** В работе [1] даны определения понятий маневренности и управляемости автомобильных колонн. Под маневренностью автомобильных колонн авторами работы [1] понимается совокупность свойств маневренности автомобилей, входящих в колонну, которые обеспечивают изменение параметров движения с необходимой точностью и быстродействием. Под управляемостью автомобильной колонны в работе [1] понимается способность автомобилей, входящих в колонну, адекватно обрабатывать сигнал на изменение параметров траектории движения за наименьший промежуток времени. Там же предложены показатели маневренности автомобильной колонны:

- время выполнения маневра (изменения скорости движения)  $t_M$ ;
- коэффициент изменения длины колонны  $K_{дл}$ ;
- скорость движения автомобильной колонны.

Определена длина автомобильной колонны (см. рис. 1 [1])

$$L_K = l_{Г1} + T_{V2} + \dots + T_{Vi} + \dots + T_{Vn} = l_{Г1} + \sum_{i=2}^n T_{Vi}, \quad (1)$$

где  $l_{Г1}$  – габаритная длина головного автомобиля;  $T_{Vi}$  – интервал движения  $i-1$  и  $i$ -го автомобилей;

$$T_{Vi} = l_{Гi} + S_{Гi} + l_3; \quad (2)$$

$l_{Гi}; S_{Гi}$  – габаритная длина и тормозной путь  $i$ -го автомобиля;

$l_3 = 5$  м – путь запаса.

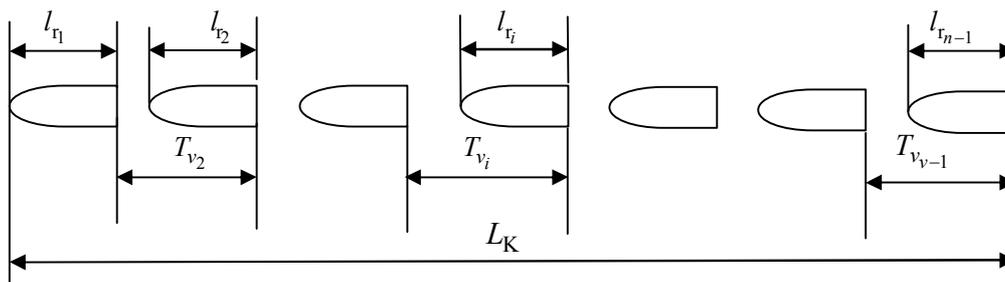


Рис. 1. Определение длины автомобильной колонны

В работе [2] предложено для исследования движения автомобильной колонны использовать модель многокомпонентного сложного движения. В такой постановке средняя скорость движения автомобильной колонны принималась равной скорости переносного движения  $\bar{V}_e$  [2]. Указанная скорость может быть определена как

$$\bar{V} = V_e = \frac{S_{\text{марш}} + L_K}{t_{\text{марш}}}, \quad (3)$$

где  $S_{\text{марш}}$  – длина маршрута;  $t_{\text{марш}}$  – время совершения марша.

Если известна длина маршрута, можно определить время совершения марша:

$$t_{\text{марш}} = \frac{S_{\text{марш}} + L_K}{\bar{V}}. \quad (4)$$

Анализ выражения (4) показывает, что с увеличением средней скорости  $\bar{V}$  и уменьшением длины  $L_K$  возможно уменьшение времени совершения марша  $t_{\text{марш}}$ .

Динамическое увеличение (в процессе совершения марша) длины колонны определяется накопленной суммой относительных перемещений автомобилей, вызванных скоростями движения автомобилей относительно головного автомобиля. Уменьшение суммы относительных перемещений автомобилей в колонне позволяет уменьшить длину колонны  $L_K$  и время совершения марша  $t_{\text{марш}}$ .

**Цель статьи** – исследовать возможность повышения маневренности и управляемости автомобильных колонн Национальной гвардии Украины путем уменьшения длины колонны и исключения ее динамического удлинения за счет использования беспилотных автомобилей с комбинированным (гибридным) приводом ведущих колес.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить длину автомобильной колонны, в которой все машины (кроме головной) являются беспилотными;
- провести оценку повышения маневренности автомобильной колонны с беспилотными машинами.

**Изложение основного материала.** Применение беспилотных автомобилей в колонне позволяет:

- сократить ее длину путем уменьшения дистанции между автомобилями;
- обеспечить стабильность длины колонны вне зависимости от скорости движения;
- повысить безопасность движения путем организации разгона колонны последовательно от головного автомобиля до замыкающего и торможения – последовательно от замыкающего автомобиля до головного.

Уравнение (1) можно представить в таком виде:

$$L_K = l_{\Gamma_1} + l_{\Gamma_2} + \dots + l_{\Gamma_i} + \dots + l_{\Gamma_n} + S_{T_1} + S_{T_2} + \dots + S_{T_i} + \dots + S_{T_n} + (n-1)l_3 = \sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + \sum_{i=2}^n S_{T_i} + (n-1)l_3. \quad (5)$$

Тормозной путь  $i$ -го автомобиля (пренебрегая путем, проходимым за время срабатывания тормозов)

$$S_{T_i} = \frac{V^2}{2j_{x\max i}}, \quad (6)$$

где  $j_{x\max i}$  – максимально возможное замедление автомобиля при торможении.

При техническом состоянии тормозной системы, соответствующему ТУ, имеем

$$J_{x \max i} = \varphi_{x \max} \cdot g, \quad (7)$$

где  $\varphi_{x \max} = 0,8$  – максимальное значение продольного коэффициента сцепления колес с дорогой [3];  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

В этом случае уравнение (6) примет вид

$$S_{\Gamma_i} = S_{\Gamma} = \frac{V^2}{2g\varphi_{x \max i}}. \quad (8)$$

После подстановки выражения (8) в формулу (5) получим

$$L_{\text{К}} = \sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + \frac{nV^2}{2g\varphi_{x \max}} + (n-1)l_3. \quad (9)$$

Если при движении по маршруту скорость колонны может изменяться в диапазоне  $[V_{\min}; V_{\max}]$ , то и ее длина будет находиться в пределах  $[L_{\text{К} \min}; L_{\text{К} \max}]$ .

$$\sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + \frac{V_{\min}^2}{2g\varphi_{x \max}} + (n-1)l_3 \leq L_{\text{К}} \leq \sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + \frac{nV_{\max}^2}{2g\varphi_{x \max}} + (n-1)l_3. \quad (10)$$

Коэффициент изменения длины колонны [1]

$$K_{\text{дл}} = \frac{L_{\text{К} \max}}{L_{\text{К} \min}} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + \frac{nV_{\max}^2}{2g\varphi_{x \max}} + (n-1)l_3}{\sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + \frac{V_{\min}^2}{2g\varphi_{x \max}} + (n-1)l_3}. \quad (11)$$

Разность длин автомобильной колонны при  $V = V_{\max}$  и при  $V = V_{\min}$

$$\Delta L_{\text{К}} = L_{\text{К} \max} - L_{\text{К} \min} = \frac{(V_{\max}^2 - V_{\min}^2)n}{2g\varphi_{x \max}} = \frac{\bar{V} \cdot \Delta V \cdot n}{g \cdot \varphi_{x \max}}, \quad (12)$$

где  $\Delta V$  – разность скоростей  $V_{\max} - V_{\min}$ .

Чувствительность длины колонны к изменению скорости движения головного автомобиля определим из уравнения (9):

$$\frac{\partial L_{\text{К}}}{\partial V} = \frac{nV}{g\varphi_{x \max}}. \quad (13)$$

Из уравнения (13) видно, что чувствительность длины колонны  $L_{\text{К}}$  к изменению скорости движения пропорциональна произведению числа автомобилей в колонне на скорость движения.

При использовании беспилотных автомобилей интервал между автомобилями будет равен

$$T_{V_i} = l_{\Gamma_i} + l_3. \quad (14)$$

Выражение (14) отличается от формулы (2) отсутствием величины тормозного пути  $S_{\Gamma_i}$ . Это обусловлено тем, что управление торможением автомобилей в колонне производится централизованно из головного автомобиля. При этом сигнал на торможение передается последовательно от замыкающего автомобиля к головному.

Длина колонны, состоящей из беспилотных автомобилей

$$L_{\text{К}} = \sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + (n-1)l_3. \quad (15)$$

Из выражения (15) видно, что в рассматриваемом случае длина колонны  $L_{\text{К}}$  не зависит от скорости ее движения, а чувствительность длины колонны  $\frac{\partial L_{\text{К}}}{\partial V}$  к изменению скорости равна нулю.

Время совершения марша при использовании беспилотных автомобилей ( $t_{\text{маршп}}$ ) находим после подстановки выражения (15) в уравнение (4):

$$t_{\text{маршп}} = \frac{S_{\text{марш}} + \sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + (n-1)l_3}{\bar{V}}. \quad (16)$$

Для сравнения подставим выражение (9) также в уравнение (4):

$$t_{\text{марш}} = \frac{S_{\text{марш}} + \sum_{i=1}^n l_{\Gamma_i} + (n-1)l_3 + \frac{n\bar{V}^2}{2g\varphi_{x\text{max}}}}{\bar{V}}. \quad (17)$$

Сравнивая между собой уравнения (16) и (17), можно сделать вывод о том, что при прочих равных условиях

$$t_{\text{маршп}} < t_{\text{марш}}. \quad (18)$$

Комбинированный электромеханический привод ведущих колес при автоматическом поддержании дистанции между автомобилями  $D_a = l_3 = 5$  м позволяет обеспечить безопасность движения при более высоких допустимых скоростях движения колонн. Как видно из уравнения (16), увеличение средней скорости  $\bar{V}$  позволяет уменьшить время  $t_{\text{маршп}}$  совершения марша.

Следует обратить внимание на тот факт, что тормоза каждого последующего автомобиля в колонне должны срабатывать либо одновременно с тормозами предыдущего автомобиля, либо опережать их на время  $\Delta t_{\text{ср}}$ .

Безопасность движения будет обеспечена за счет пути запаса  $l_3$ , если по какой-то причине тормоза предыдущего автомобиля будут срабатывать раньше тормозов последующего. Допустимое время запаздывания  $\Delta \bar{t}_{\text{ср}}$  тормозов последующего автомобиля по отношению к тормозам предыдущего может быть определено по формуле

$$\Delta \bar{t}_{\text{ср}} = \frac{l_3}{\bar{V}}. \quad (19)$$

На рис. 2 приведена зависимость  $\Delta \bar{t}_{\text{ср}}$  от начальной скорости движения колонны  $V$  при  $l_3 = 5$  м.

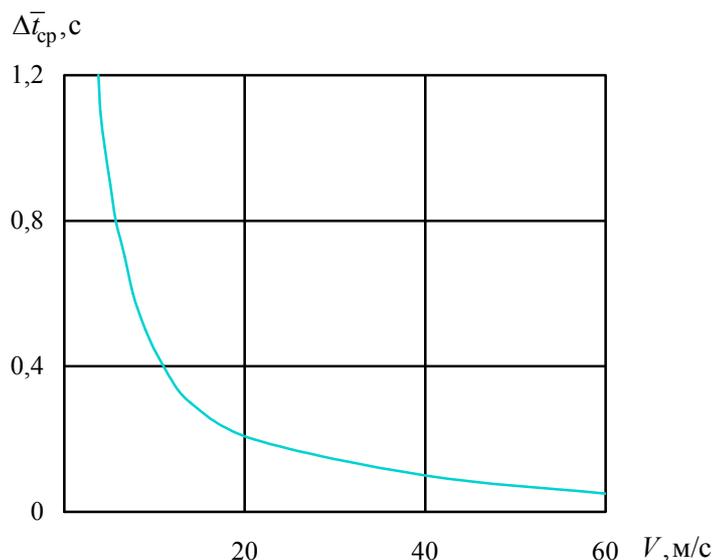


Рис. 2. Зависимость допустимого времени запаздывания включения тормозов последующего беспилотного автомобиля  $\Delta \bar{t}_{\text{ср}}$  по отношению к срабатыванию тормозов предыдущего беспилотного автомобиля от начальной скорости колонны

Проведем сравнение времени совершения марша автомобильными колоннами, состоящими из пилотируемых и беспилотных автомобилей. Для этого преобразуем выражения (16) и (17) к виду

$$t_{\text{маршп}} = \frac{S_{\text{марш}}}{\bar{V}} + \frac{n\bar{l}_{\Gamma} + (n-1)l_3}{\bar{V}}; \quad (20)$$

$$t_{\text{марш}} = \frac{S_{\text{марш}}}{\bar{V}} + \frac{n\left(\bar{l}_{\Gamma} + \frac{\bar{V}^2}{2g\varphi_{x\text{max}}}\right) + (n-1)l_3}{\bar{V}}, \quad (21)$$

где  $\bar{l}_r$  – средняя габаритная длина автомобилей, входящих в колонну,

$$\bar{l}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_{r_i}. \quad (22)$$

Сокращение времени совершения марша при использовании беспилотных автомобилей

$$\Delta t_{\text{марш}} = t_{\text{марш}} - t_{\text{маршп}} = \frac{n\bar{V}}{2g\varphi_{x \max}}. \quad (23)$$

Сравнивая между собой уравнения (13) и (23), делаем вывод о том, что

$$\frac{\partial L_K}{\partial V} = 2\Delta t_{\text{марш}}. \quad (24)$$

На рис. 3 приведен график зависимости сокращения времени совершения марша при использовании беспилотных автомобилей  $\Delta t_{\text{марш}}$  от средней скорости  $\bar{V}$  при различном числе автомобилей в колонне.

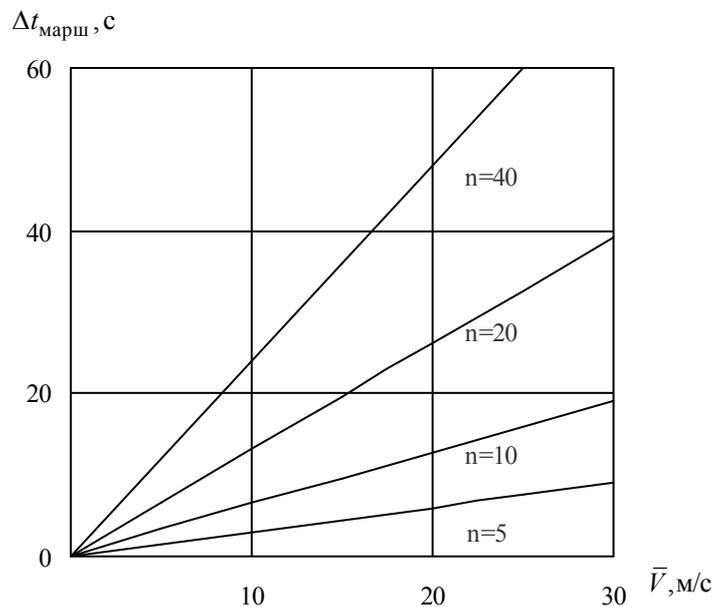


Рис. 3. Зависимость  $\Delta t_{\text{марш}}$  от  $\bar{V}$  при различном количестве автомобилей  $n$  в колонне

Анализ графиков, приведенных на рис. 3, показывает, что даже при скорости  $\bar{V} = 25$  м/с (90 км/ч) сокращение времени совершения марша составляет всего 60 с даже при числе автомобилей в колонне, равном 40. Это сокращение времени актуально при перемещении на малые расстояния, например, при преодолении опасного участка пути. Однако использование беспилотных автомобилей позволяет сократить длину колонны (улучшить ее компактность) либо при той же длине увеличить число автомобилей в колонне.

Сокращение длины колонны находим, используя выражения (9) и (15) при  $V = \bar{V}$ :

$$\Delta L = L_K - L_{\text{КП}} = \frac{n\bar{V}^2}{2g\varphi_{x \max}}. \quad (25)$$

На рис. 4 приведен график зависимости сокращения  $\Delta L$  длины колонны из 20 машин в случае применения беспилотных автомобилей от средней скорости движения  $\bar{V}$ .

Анализ графика, приведенного на рис. 4, показывает, что использование беспилотных автомобилей в колонне при  $n = 20$  позволяет уменьшить ее длину на 800 м при скорости  $L_K = L_{\text{КП}}$  (90 км/ч).

Применение беспилотных автомобилей позволяет при равной длине колонны увеличить число машин, входящих в нее. Пусть  $n_{\text{п}}$  – число машин в колонне с беспилотными автомобилями. Тогда из условия  $L_K = L_{\text{КП}}$ , приравнявая правые части уравнений (9) и (15) при  $V = \bar{V}$ , с учетом выражения (22), получим

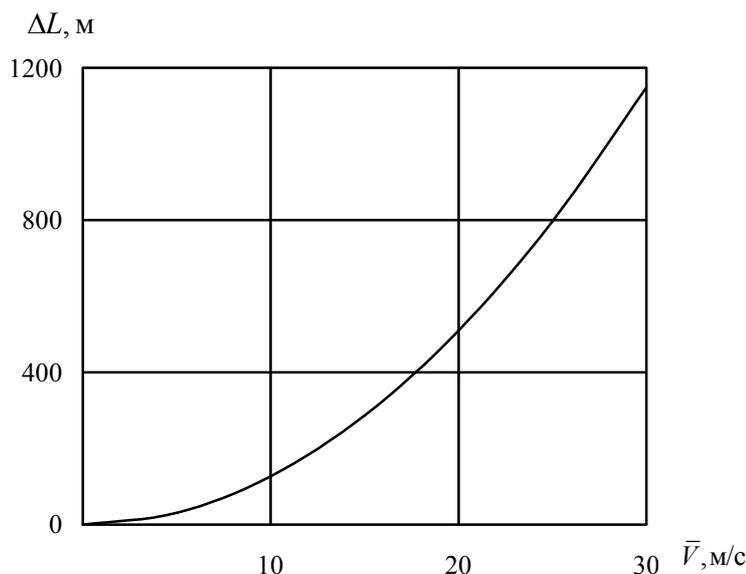


Рис. 4. Зависимость  $\Delta L(\bar{V})$  для автомобильной колонны при  $n = 20$

$$n_{\text{п}} \cdot \bar{l}_{\Gamma} + (n_{\text{п}} - 1)l_3 = n\bar{l}_{\Gamma} + (n_{\text{п}} - 1)l_3 + \frac{n\bar{V}^2}{2g\varphi_{x\text{max}}}. \quad (26)$$

Из уравнения (26) находим

$$\frac{n_{\text{п}}}{n} = 1 + \frac{n\bar{V}^2}{2g\varphi_{x\text{max}}(\bar{l}_{\Gamma} - l_3)}. \quad (27)$$

На рис. 5 представлен график зависимости  $\frac{n_{\text{п}}}{n} = F(\bar{V})$  для колонны с беспилотными автомобилями при  $\bar{l}_{\Gamma} = 7$  м.

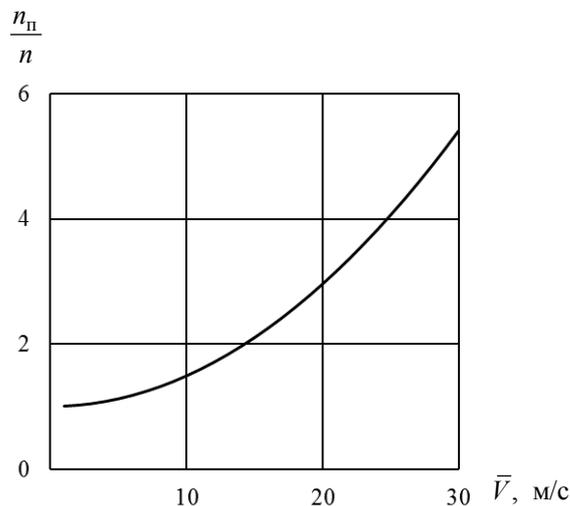


Рис. 5. Зависимость  $\frac{n_{\text{п}}}{n} = F(\bar{V})$  при  $\bar{l}_{\Gamma} = 7$  м

Из рис. 5 видно, что автомобильная колонна с беспилотными машинами равной с обычной колонной (без беспилотных машин) длины при  $\bar{l}_{\Gamma} = 7$  м и  $\bar{V} = 25$  м/с (90 км/ч) может иметь в своем составе в четыре раза больше автомобилей.

Таким образом, использование в колонне беспилотных автомобилей позволяет либо уменьшить ее длину, либо при неизменной длине увеличить число машин.

### **Выводы**

1. Длина автомобильной колонны с беспилотными машинами мало зависит от изменения скорости движения, поскольку дистанция между автомобилями не определяется тормозным путем и скоростью, а равна только дистанции запаса  $l_3 = 5$  м.

2. Применение беспилотных автомобилей позволяет сократить время прохождения участков пути небольшой длины. Например, для колонны из 40 автомобилей при скорости 25 м/с (90 км/ч) сокращение времени прохождения маршрута (независимо от длины пути) составляет 60 с. При большой длине маршрута эта величина перекрывается погрешностями определения параметров движения.

3. Применение беспилотных автомобилей позволяет либо уменьшить длину колонны, либо увеличить число автомобилей при неизменной ее длине.

В беспилотном исполнении длина колонны из 20 автомобилей при скорости 25 м/с (90 км/ч) меньше на 800 м при любой габаритной длине машин.

Автомобильная колонна, состоящая из беспилотных автомобилей, при длине, равной длине колонны с управляемыми водителями машинами, включает в себя в четыре раза больше автомобилей при  $\bar{l}_r = 7$  м и  $\bar{V} = 25$  м/с (90 км/ч).

4. Управление беспилотными автомобилями в колонне наиболее эффективно при наличии комбинированного электромеханического привода ведущих колес. Поэтому использование гибридных автомобилей в частях Национальной гвардии Украины является перспективным направлением.

### **Список использованных источников**

1. 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. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2012. – Вип. 2 (20). – С. 74–76.

2. Operating of mobile machine units system using the model of multicomponent complex movement [Текст] / A. Lebedev, N. Artiymov, M. Shulyak // Автомобильный транспорт. – Харків : ХНАДУ, 2015. – Вип. 36. – С. 60–66.

3. Булгаков, Н. А. Исследование динамики торможения автомобиля [Текст] / Н. А. Булгаков, А. Б. Гредескул, С. И. Ломака // Научное сообщение № 18. – Харьков : Изд-во ХГУ, 1962. – 36 с.

*Стаття надійшла до редакції 16.04.2018 р.*

**УДК 629.017**

**С. А. Соколовський, М. А. Подригало, Д. М. Клец, Р. О. Кайдалов, А. І. Нікорчук**

### **ПІДВИЩЕННЯ МАНЕВРНОСТІ І КЕРОВАНОСТІ КОЛОН НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ АВТОМОБІЛІВ**

*У статті проведено дослідження шляхів підвищення маневреності та керованості колон Національної гвардії України. Розглянуто питання використання безпілотних автомобілів з комбінованим (гібридним) приводом ведучих коліс під час руху в колоні. Виконано оцінювання підвищення маневреності автомобільної колони з безпілотними машинами.*

*К л ю ч о в і с л о в а: автомобільна колонна, маневреність, керованість, безпілотні автомобілі, комбінований привід ведучих коліс.*

UDC 629.017

S. A. Sokolovskyi, M. A. Podrigalo, D. M. Klets, R. O. Kaidalov, A. I. Nikorchuk

## IMPROVEMENT OF MANEUVERABILITY AND MANAGEMENT OF COLUMNS OF THE NATIONAL GUARDS OF UKRAINE BY USE OF UNMANNED VEHICLES

*Relocation of units and subunits of the National Guard of Ukraine performing combat and service missions is carried out on vehicles in a convoys. The main feature of convoy moving in the zone of military operations is that relocation of military equipment is carried out at higher speeds, which requires increased maneuverability of both the vehicles themselves and the convoys as a whole.*

*The experience of combat operations shows that the movement of the automobile convoys from the initial to the final point should take place in the minimum time and with the minimum length of the column for safety conditions.*

*In the article the authors propose to use unmanned vehicles in the combat zone, which will allow to reduce the length of the column and increase its speed. Equipping the vehicles with a combined (hybrid) electromechanical drive will make it possible to improve the controllability of the convoy when performing various maneuvers associated with changing parameters and trajectory, and also to control the distance between vehicles and the speed of their movement.*

*The authors in the article evaluated the increase in the maneuverability of a convoy with unmanned vehicles equipped with a combined (hybrid) electromechanical drive, and found that:*

- the length of a convoy with unmanned vehicles is less sensitive to changes in speed, since the distance between cars is not determined by the braking distance and speed, but is equal only to the reserved distance;*
- using of an unmanned vehicles makes it possible to effectively reduce the transit time of small-length sections of the road;*
- using of an unmanned vehicles allows either to reduce the length of a convoy or to increase the number of vehicles with the same convoy length;*
- implementing of a driving system of unmanned vehicles in a convoy is most effective with the combined electromechanical drive of the driving wheels. Therefore, the use of hybrid cars by the National Guard of Ukraine is a perspective direction.*

*К e y w o r d s: automobile column, maneuverability, controllability, unmanned vehicles, combined drive of driving wheels.*

**Соколовський Сергій Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник Національної академії Національної гвардії України.

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

**Клец Дмитро Михайлович** – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

**Кайдалов Руслан Олегович** – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника науково-дослідного центру – начальник науково-дослідної лабораторії службово-бойового застосування НГУ Національної академії Національної гвардії України.

**Никорчук Андрій Іванович** – кандидат технічних наук, заступник начальника науково-дослідного центру – начальник науково-дослідної лабораторії забезпечення службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.