

УДК 629.3.017.5



М. В. Склярів



А. І. Нікорчук



О. І. Шаповалов

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХІДНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ З КОЛІСНОЮ ФОРМУЛОЮ 6×6

У статті досліджуються можливості підвищення прохідності вантажних автомобілів НГУ у складних умовах експлуатації шляхом забезпечення оптимального перерозподілу тиску повітря в шинах коліс. Підвищення прохідності можливо досліджувати за допомогою сучасного математичного апарату, що дозволить вибирати її оптимальні параметри при виконанні службово-бойових завдань в різних умовах експлуатації і для певного співвідношення її технічних характеристик.

К л ю ч о в і с л о в а: рух вантажних автомобілів, математичне моделювання, прохідність.

Постановка проблеми. В умовах повномасштабної війни РФ проти України до автомобільної техніки Збройних Сил України та Національної гвардії України висувають більш серйозні технічні вимоги, ніж у мирний час.

Серед них на перший план виходить маневреність, яку забезпечують керованість, швидкість руху та прохідність.

Своєю чергою прохідність залежить від багатьох факторів, основні з яких: тип та якість поверхонь, по яких здійснюється рух, тиск повітря в шинах коліс, вага автомобіля, черговість проходження по колії у колоні та багато інших [1].

На вантажних автомобілях НГУ високої прохідності широко використовуються системи централізованого регулювання тиску повітря в шинах коліс, проте, основним недоліком таких систем є те, що для підвищення прохідності по опорних поверхнях з низькою несучою здатністю потрібно зменшувати тиск в шинах до мінімально допустимого, що накладає обмеження на максимальну швидкість руху через ризики сходу шини з ободу, перегріву і вибуху.

Для забезпечення необхідного рівня прохідності доцільно визначити вплив різноманітних факторів.

Узагальнені висновки попередніх досліджень. Прохідність досліджують багато науковців [1–10], що підкреслює актуальність цієї проблеми. Вони приділяють значну увагу вивченню багатьох факторів, що характеризують прохідність. Основні положення аналізу прохідності автомобільної техніки багатоцільового призначення в різних умовах руху зі зміною параметрів тиску повітря в шинах ведучих коліс наведено у статті [2]. Найсучаснішою методикою визначення прохідності колісної автомобільної техніки в умовах бездоріжжя є методика WES (англ. Waterways Experiment Station) оцінювання несучої здатності опорної поверхні, яку використовують країни НАТО [3–9]. Вона базується на стандартизованому вимірі опору деформації зазначеної поверхні конусоподібним пенетрометром, що називають конусним індексом CI (англ. Cone Index) [3, 9]. Однак показники, які створюють математичну модель за даною методикою, мають опосередковані значення. Тобто індекс прохідності MN є орієнтовним показником, значення якого використовується як для оцінювання прохідності (інформаційні табличні масиви градації значень MN), так і для подальшого розрахунку: оцінювання глибини колії Z, коефіцієнтів опору рухові та зчеплення шини з дорогою, розрахунку теоретично можливої максимальної швидкості руху даною місцевістю. А це не відповідає реальній зміні тиску повітря в шинах у конкретних дорожніх умовах, відповідно і рівень прохідності також визначається опосередковано. Це значно спрощує модель, але не дає повної картини для аналізу руху, отже, не дозволяє сформулювати рекомендації щодо підвищення прохідності в той чи іншій

експлуатаційній ситуації при виконанні службово-бойових завдань (СБЗ) з використанням вантажних автомобілів НГУ.

Необхідно провести більш ретельні математичні дослідження руху вантажних автомобілів НГУ по опорним поверхням, що деформуються (ОПД).

Мета статті. Виконати теоретичне дослідження на базі математичної моделі для підвищення прохідності руху вантажних автомобілів НГУ з колісною формулою 6×6 шляхом регулювання тиску повітря між осями коліс під час руху по поверхням зі змінними коефіцієнтами зчеплення та опору коліс.

Виклад основного матеріалу. До автомобільної техніки НГУ висунуто підвищені вимоги з прохідності в силу виконання СБЗ різного призначення та різних місій на полі бою, а також з метою забезпечення високої бойової готовності підрозділів. Більшість вантажних автомобілів НГУ мають колісну формулу 6×6, тобто повний привід на всі колеса, отже, і підвищену прохідність. До таких автомобілів віднесені: МАЗ-6317, КрАЗ-6322 «Солдат», спеціальна техніка, створена на їх базі, така як «Fiona», «Shrek», «Raptor», рухомі пункти управління на базі МАЗ-6317 та багато інших [11].

Доцільно теоретично дослідити можливість збільшення прохідності на основі математичного моделювання саме для наведених зразків автомобілів. Для цього необхідно визначитися з типом опорної поверхні, по якій буде здійснюватися рух, а також з параметрами тиску повітря в шинах коліс.

Визначивши основні умови та параметри руху, розглянуті в наукових працях [1, 2], переходимо до складання формульної математичної моделі, яка будується за залежностями (1) – (7), наведеними у статті [1].

Базуючись на формульних залежностях, складаємо математичну модель для зазначених у статті [1] умов руху вантажних автомобілів НГУ з колісною формулою 6×6.

Для тривісного вантажного автомобіля НГУ, на прикладі МАЗ-6317 з балансірним візком позаду, маємо:

$$R_{Z1} + R_{Z2} + R_{Z3} - \frac{G_a \cdot \cos(\alpha + \beta)}{2} = 0. \quad (1)$$

$$R_{Z2} - R_{Z3} = 0, \quad (2)$$

$$G_a \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot X_{Ki} - 2(M_{K1} + M_{K2} + M_{K3}) + P_{KP} \cdot Z_{TCY} - 4R_{Z2} \cdot \left(L - \frac{L_{3-4}}{2} \right) = 0. \quad (3)$$

Спрощена схема трансмісії з диференціальним приводом наведена на рис. 1.

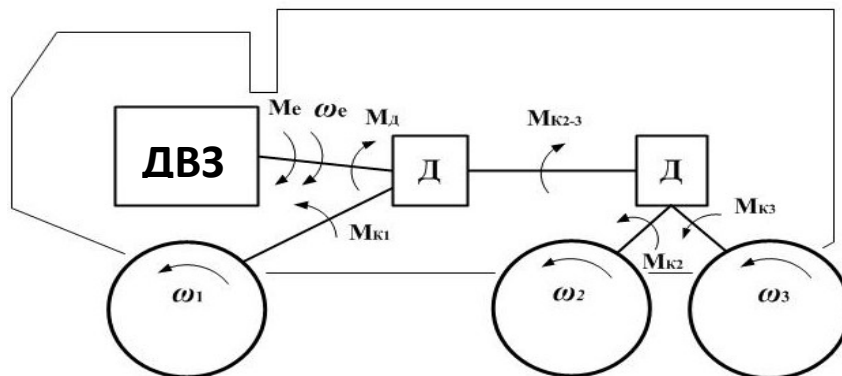


Рисунок 1 – Схема трансмісії з диференціальним приводом

Для вантажного автомобіля НГУ з колісною формулою 6×6 (на прикладі МАЗ-6317) динаміку трансмісії з диференціальним зв'язком описуватиме така система рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\omega}_e = \frac{\dot{\omega}_1 + 2 \cdot \dot{\omega}_{2-3}}{3}, \\ J_e \cdot \dot{\omega}_e = M_e - M_d, \\ J_1 \cdot \dot{\omega}_1 = \frac{M_d}{3} - M_{K1}, \\ J_{2-3} \cdot \dot{\omega}_2 = \frac{2M_d}{3} - M_{K2-3}, \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\dot{\omega}_{2-3} = \frac{\dot{\omega}_2 - \dot{\omega}_3}{2}, \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} M_{K2-3} = M_{K2} = M_{K3}. \quad (6)$$

де J_i – момент інерції i -го колеса;

J_e – момент інерції двигуна;

$\dot{\omega}_e$ – кутове прискорення обертання вала двигуна;

M_e – момент, який розвиває двигун на вихідному валу коробки передач;

M_d – момент на корпусі диференціала;

$\dot{\omega}_i$ – кутове прискорення i -го колеса;

$\dot{\omega}_{2-3}$ – кутове прискорення на задньому візку;

M_{Ki} – момент опору на i -му колесі;

M_{K2-3} – момент опору на задньому візку;

M_B – момент блокування.

Спрощена схема трансмісії з блокованим зв'язком наведена на рис. 2.

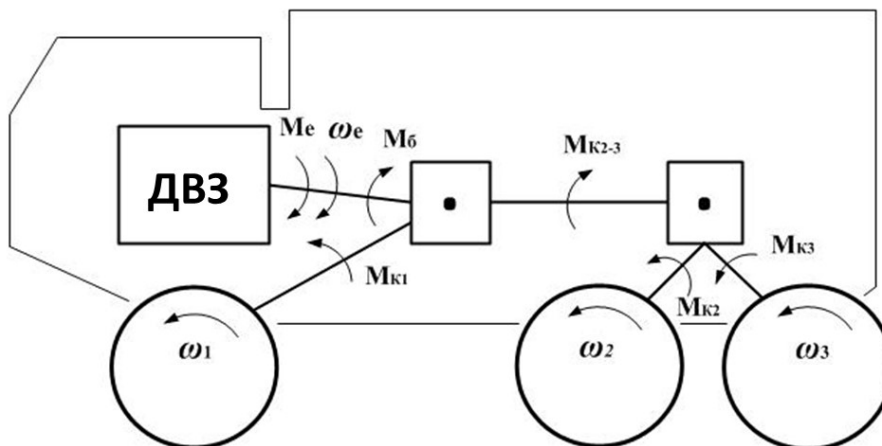


Рисунок 2 – Схема трансмісії МАЗ-6317 з блокованим приводом міжосьового та міжколісного диференціалів

Для вантажних автомобілів НГУ з колісною формулою 6×6 динаміку трансмісії з блокованим зв'язком описуватиме така система рівнянь:

$$\begin{cases} J_e \cdot \dot{\omega}_e = M_e - M_{\delta}, \\ M_{\delta} = M_{K1} + M_{K2-3}, \\ \dot{\omega}_e = \dot{\omega}_1 = \dot{\omega}_{2,3}, \end{cases} \quad (7)$$

$$\dot{\omega}_{2,3} = \dot{\omega}_2 = \dot{\omega}_3, \quad (8)$$

$$M_{K2-3} = M_{K2} + M_{K3}. \quad (9)$$

Вирази (1) – (9) складають формульну схему розробленої математичної моделі дослідження руху, отже, і підвищення прохідності вантажних автомобілів НГУ з колісною формулою 6×6 по ОПД.

Реалізуючи отриману математичну модель через додаток Simulink програмного продукту Matlab, можемо отримати графічні залежності, які дозволяють оптимізувати параметри руху: швидкість, завантаження автомобіля, тиск повітря в шинах коліс, ступінь блокування диференціалів відповідно до типу опорної поверхні, по якій здійснюється рух.

Результати моделювання руху вантажних автомобілів НГУ з колісною формулою 6×6 (МАЗ-6317) на прикладі залежностей f_{w0} у функції від R_z і P_w для першого, другого, та третього проходів коліс по ґрунтовій основі ОПД «суглинок-35», подані на рис. 3.

У реалізації математичної моделі руху зазначеного вантажного автомобіля по ОПД були прийняті такі обмеження і допущення:

- тип ґрунтових поверхонь – суглинний ґрунт ступеня вологості 35 %;
- як вихідні значення показника c , що характеризує початковий опір ґрунту вдавлюванню, і ступеневого показника μ використані експериментальні дані (для суглинка, вологість якого 35 %: $c = 0,35$; $\mu = 0,5$);
- ґрунт однорідний, його фізико-механічні властивості не змінюються під впливом природно-кліматичних факторів;
- ґрунтова поверхня однорідна, горизонтальна і рівна.

Аналіз результатів математичного моделювання дозволив визначити інтервали раціонального тиску повітря в шинах коліс, що відповідають найменшим значенням коефіцієнта опору коченню при русі по ґрунтовій основі, з варіюванням навантаження на колеса та залежно від номера проходу.

При коченні коліс по ґрунтовій основі опорної поверхні «суглинок-35» значення раціонального тиску повітря в шинах для першого проходу незалежно від навантаження потрапляють в інтервал від 0,15 МПа до 0,20 МПа. У другому проході з навантаженням 10 000 Н та 20 000 Н значення раціонального тиску зростають і знаходяться в межах від 0,20 МПа до 0,25 МПа.

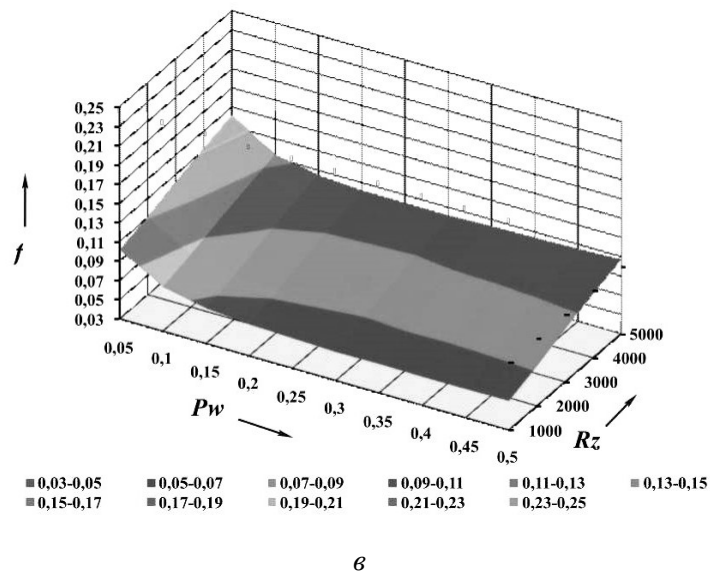
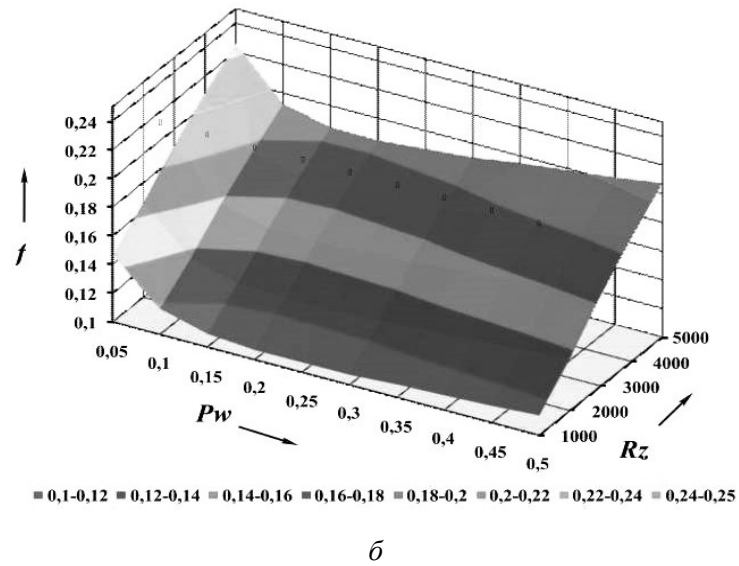
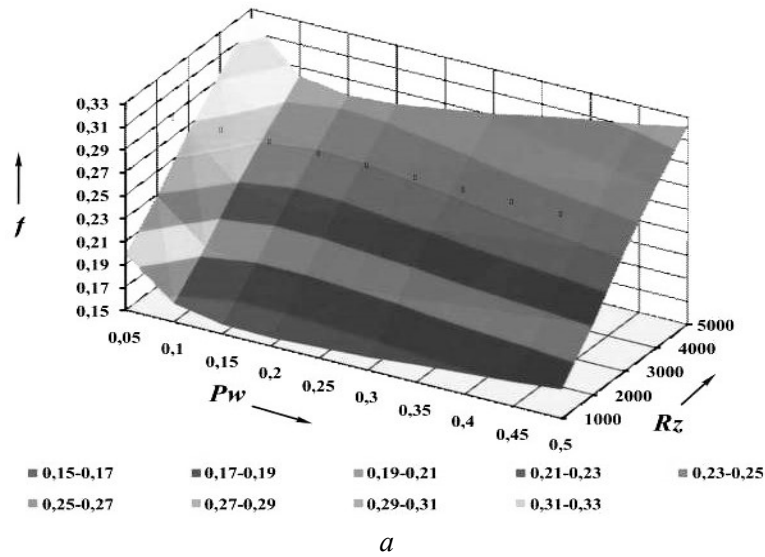


Рисунок 3 – Залежності f_{w0} у функції від R_z і P_w для першого (а), другого (б) та третього (в) проходів колеса по ґрунтовій основі ОПД «суглинок-35»

Зі збільшенням навантаження до 30 000 Н значення раціонального тиску знижуються та потрапляють в інтервал від 0,15 МПа до 0,20 МПа і залишаються незмінними з подальшим збільшенням навантаження. У третьому проході з навантаженням 10 000 Н та 20 000 Н значення раціонального тиску повітря знаходяться в інтервалі від 0,30 МПа до 0,35 МПа. Зі збільшенням навантаження до 30 000 Н значення раціонального тиску знижуються та потрапляють в інтервал від 0,25 МПа до 0,30 МПа і залишаються незмінними з подальшим збільшенням навантаження.

Інтервали значень раціонального тиску повітря в шинах коліс (P_w , МПа), що відповідають мінімальним значенням коефіцієнта опору коченню f_{w0} , при встановленому навантаженні (R_z , Н) і залежно від номера проходу коліс по відповідній ґрунтовій основі, подані в табл. 1.

Таблиця 1 – Раціональні значення P_w (МПа) при русі по ОПД «суглинок-35»

R_z , Н	Номер проходу коліс		
	перший	другий	третій
10 000	0,15–0,20	0,20–0,25	0,30–0,35
20 000	0,15–0,20	0,20–0,25	0,30–0,35
30 000	0,15–0,20	0,15–0,20	0,25–0,30
40 000	0,15–0,20	0,15–0,20	0,25–0,30
50 000	0,15–0,20	0,15–0,20	0,25–0,30

Розроблена математична модель може бути реалізована при коченні коліс по ґрунтовій основі опорної поверхні не тільки «суглинок-35», а також по ґрунтових основах «суглинок-20», «вологий пісок», «рілля», з різними значеннями раціонального тиску повітря в шинах для різного ступеня навантаження вантажних автомобілів НГУ.

Висновки

1. Проведено теоретичне дослідження моделювання процесу руху повнопривідного вантажного автомобіля з колісною формулою 6×6 по бездоріжжю з метою визначення оптимального розподілу тиску між осями, за якого покращується прохідність і не зменшується ресурс шин.

2. Визначено, що, враховуючи параметри колісного рушія вантажного автомобіля, координати центра ваги, положення тягово-зчпного пристрою та центра парусності, тип, характеристики трансмісії та силової установки, характеристики ґрунту, а також функціональну залежність коефіцієнта опору руху від тиску повітря в шинах, вертикального навантаження на колеса, розташування коліс на базі вантажного автомобіля, можливо розрахунковим шляхом визначити майже всі показники характеристик прямолінійного руху по опорній поверхні, що деформується, та кожного з коліс, які включають показники оцінки опорної прохідності, з широкою варіацією його конструктивних та експлуатаційних параметрів.

3. Розроблено формульну схему математичної моделі дослідження руху вантажного автомобіля МАЗ-6317 по ОПД «суглинок-35» за відомих навантажувальних і розмірних параметрів, показників характеристик жорсткості, а також механічних параметрів ґрунту, що дозволила провести теоретичне дослідження параметрів такого руху в функції від навантаження на колеса, встановленого тиску повітря в шинах і номера проходу (або кожного колеса, що котиться по сліду попереднього).

4. Запропоновано застосування автоматизованої децентралізованої системи регулювання тиску повітря в шинах модернізованої конструкції, яка дозволяє оперативнo адаптувати колісний рушій до дорожніх умов, встановлюючи раціональний тиск повітря в шинах коліс кожної осі залежно від навантаження на колеса.

5. Встановлено, що при русі вантажних автомобілів по ОПД необхідно проводити зниження тиску повітря в шинах колісного рушія індивідуально для коліс кожної осі. Величина раціонального тиску повітря в шинах коліс, що відповідає мінімальним значенням коефіцієнта опору коченню, залежить від типу та фізико-механічних характеристик ґрунту, навантаження, що припадає на кожне колесо і розташування їх у колісній формулі. Отже, для підвищення прохідності вантажних автомобілів,

незалежно від колісної формули, необхідно застосовувати метод децентралізованого регулювання тиску повітря в шинах.

6. Встановлено за допомогою імітаційного моделювання, що розроблений закон розподілу моментів по колесах пропорційно відносним нормальним навантаженням, а саме в кожен рушій, поєднує в собі переваги диференціального і блокованого зв'язку, дозволяє підвищити безпеку та енергоефективність у всіх досліджуваних випадках руху для всього швидкісного діапазону. Доведено, що при прямолінійному русі на підйом для коефіцієнта зчеплення не більше 0,6 і висоти центра ваги 2,5 м застосування закону розподілу моментів пропорційно відносному нормальному навантаженню на рушій дозволяє на 32 % збільшити кут подоланого підйому, порівнюючи з повністю диференціальною трансмісією, і до 12 % знизити енергетичні витрати, порівнюючи з блокованим приводом, при забезпеченні однакового максимального кута підйому, який долають.

Перелік джерел посилання

1. Склярів М. В., Шаповалов О. І. Математичне моделювання руху по деформованій опорній поверхні при зміні тиску в шинах коліс багатоцільового броньованого автомобіля на прикладі КрАЗ «Ураган». *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків : НА НГУ, 2021. Вип. 1 (37). С. 78–88.
2. Склярів М. В., Воробйов С. О. Вплив конструктивних факторів на прохідність автомобільної техніки багатоцільового призначення. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків : НА НГУ, 2020. Вип. 1 (35) С. 69 – 78.
3. Wong Y. J. *Theory of ground vehicle* London. London – NewYork, Mc-GrawHill Booh Comp. 1993. 423 p.
4. Lessem A., Mason G., Ahlvin R. Stochastic vehicle mobility forecasts using the NRMM. *Journal of Terramechanics* .1996. 33(6). P. 273 – 280.
5. Freitag D. R. A dimensional analysis of the performance of the pneumatic tires soft soil. US Army Waterways Experimental Station. Report. 1965. P. 3–688.
6. Review of terramechanics models and their applicability to real-time applications / R. He et al. *Journal of terramechanics*. 2019. 81(2). С 3–22.
7. Maclaurin B. *High Speed Off-Road Vehicles: Suspensions, Tracks, Wheels and Dynamics*. London, Wiley, 2018. 249 p. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-ua/High+Speed+Off+Road+Vehicles:+Suspensions,+Tracks,+Wheels+and+Dynamics-p-9781119258810>.
8. Lutz J. Mobility of ground vehicles. US military view a overview primer and reference source guide. Quent systems Inc., 2003. 101 p.
9. Larminie J. C. Modifications to the mean maximum pressure system. *Journal of Terramechanics*, 1992. 29(2). P. 239–255. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989290029J/>.
10. Грубель М. Г., Крайник Л. В., Хома В. В. Імітаційне моделювання руху колісної військової автомобільної техніки бездоріжжям та оцінка його адекватності. *Автошляховик України*. 2020. № 2. С. 21–28.
11. Нацгвардія отримала два рухомі пункти управління. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2020/11/maz-pu.html> (дата звернення: 15.06.2022).

Стаття надійшла до редакції 15.06.2022 р.

UDC 629.3.017.5

М. Sklyarov, A. Nikorchuk, O. Shapovalov

STUDY OF PATENCY OF TRUCKS OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE WITH WHEEL FORMULA 6 × 6

A study of the patency of trucks of the National Guard of Ukraine, with a wheel formula 6 × 6, which has significant features. The operation of trucks of the National Guard of Ukraine involves traffic on both

general and off-road roads. Possibilities of increase of patency, at the expense of maintenance of optimum redistribution of air pressure in tires of wheels are investigated. Improving patency in difficult operating conditions can be investigated using a modern mathematical apparatus. This will allow for the vehicles of the National Guard of Ukraine to investigate the patency and choose its optimal parameters when performing combat missions in various operating conditions and with a certain ratio of their technical characteristics.

Formulation of the problem. As a result of the full-scale war of the Russian Federation against Ukraine, the Armed Forces of Ukraine and the National Guard of Ukraine faced more serious technical requirements than in peacetime.

Among such requirements is maneuverability - which in turn is provided by controllability, speed and patency.

The patency of trucks of the National Guard of Ukraine depends on many factors, the main of which are: the type and quality of surfaces on which traffic is carried out, air pressure in the tires, weight of the car, the order of passage in the column, and many others.

At the National Guard of Ukraine high-pass truck have been widely used system of centralized regulation of air pressure in the tires, but the main disadvantage of such systems is that to increase the patency of low-bearing bearing surfaces need to reduce tire pressure to the minimum allowable, which in in turn imposes restrictions on the maximum speed due to the risk of the tire coming off the rim, overheating and explosion.

To ensure the required level of patency, it is advisable to determine the influence of various factors.

К e y w o r d s: truck traffic, mathematical modeling, patency.

Склярів Микола Вячеславович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0001-7785-6059>

Нікорчук Андрій Іванович – кандидат технічних наук, начальник кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-2683-9106>

Шаповалов Олександр Ігорович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0001-8518-4336>