

УДК 629.113.028.001

DOI: 10.33868/0365-8392-2022-1-273-44-52

© Л. В. Крайник, докт. техн. наук, професор,  
ORCID: 0000-0002-0524-9126,  
e-mail: l.kraynyk@gmail.com

АТ «Укравтобуспром»;

© О. В. Ланець, канд. техн. наук, доцент,  
ORCID: 0000-0001-7149-0957,

e-mail: lanecolena@gmail.com

Національний університет  
«Львівська політехніка»

© Lubomyr Kraynyk, Doctor of Technical Sciences,  
Professor, ORCID: 0000-0002-0524-9126,  
e-mail: l.kraynyk@gmail.com

JSC «Ukratobusprom»

© Olena Lanets, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,

ORCID: 0000-0001-7149-0957,

e-mail: lanecolena@gmail.com

Lviv Polytechnic National University

## ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОЇ ПРОХІДНОСТІ АВТОМОБІЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯМ: СУЧАСНА МЕТОДОЛОГІЯ ТА НОРМАТИВНА БАЗА

### OFF-ROAD VEHICLE MOBILITY: MODERN METHODOLOGY AND NORMATIV BASE

**Анотація.** Грунтуючись на проведеному аналізі досліджень Східної та Західної наукових шкіл було визначено, що базові положення і відомі напрацювання Західної наукової школи мають бути покладені в основу формування сучасної української наукової школи у сфері проектування і експлуатації автомобілів високої та підвищеної прохідності. Варто врахувати пріоритетну скерованість даних досліджень у сфері військової автотехніки, а отже, проблему відсутності деталізованих алгоритмів або методики комп'ютеризованого розрахунку та оцінки швидкісних характеристик руху конкретного автомобіля на різних опорних поверхнях, які можуть застосовуватись до практичного використання.

На базі огляду і аналізу сучасних досліджень у сфері прохідності і мобільності руху бездоріжжям представлено основні положення формування та оцінки компоновки та підвіски автомобілів високої та підвищеної прохідності і умов максимальної мобільності руху бездоріжжям, а також відповідного національного стандарту.

**Ключові слова:** бездоріжжя, автомобіль, прохідність, мобільність руху, компоновка, підвіска, стандарт.

**Abstract.** Based on the analysis of the research of the Eastern and Western scientific schools, it was determined that the basic provisions and known achievements of the Western scientific school should be the basis for the formation of a modern domestic scientific school in the field of design and operation of vehicles with high and increased cross-country ability. It is necessary to take into account the priority direction of the research data in the field of military auto equipment, and therefore the problem of the lack of detailed algorithms or methods of computerized calculation and evaluation of the speed characteristics of the movement of a specific car on various support surfaces, which can be applied to practical use.

The modern trend of the gradual transition of the NATO armies to a new generation of vehicles with the appearance of new models is due to the improvement of anti-mine protection of the crew and passability. And so it was formed in the 60s. In the 20th century, the configuration of the MI requires changes in accordance with the modern development of structures and requirements for them in the conditions of mobile military operations. This also applies to the differentiation of the same value of the axle load factor in the axle load range from 1 to 6 t 9, in which about 90% of the fleet of modern armies is concentrated, into 3 separate values for axle loads. The calculations are based on the condition of uniform distribution of the nominal load on the axle, which is not always correct for specific designs, especially for different layout schemes (hooded or hoodless). The same circumstance is also characteristic of the second NATO-standardized indicator of the vehicle's structural passability, which eliminates the real differences in the mobility of the same type and small-sized cars.

Based on the review and analysis of modern research in the field of cross-country mobility and off-road mobility, the main provisions for the formation and assessment of the layout and suspension of high and increased cross-country cars and the conditions for maximum cross-country mobility, as well as the corresponding national standard, are presented.

**Keywords:** off-road, vehicle, performance, mobility of movement, layout, suspension, standard.

### Вступ

Актуальність розробки та організації виробництва мало- і середньотонажних автомобілів високої та підвищеної прохідності (у доповнення існуючого виробництва великотоннажних КраЗ), як з умов оновлення практично замортизованого існуючого автопарку УАЗ, ГАЗ, Зил,

КамАЗ, Урал виробництва російських автозаводів, так і війни з РФ, є очевидною. Задекларована на державному рівні гармонізація військової техніки ЗС України з нормативами НАТО зумовлює і відповідне формування вимог щодо прохідності та мобільності руху бездоріжжям машин перспективного типу (зокрема і щодо продукції КраЗ). Безперечно, що відповідні вимоги щодо прохідності військової автотехніки (ВАТ) цілком забезпечують і використання машин цього типу у аграрному та лісовому господарстві, ремонтних служб енергокомунікацій тощо.

Існуючий модельний ряд вітчизняного парку автомобілів підвищеної прохідності розробки межі 1950-60 років (УАЗ, ГАЗ 66, Зил 131, Урал) – початку 1970-х р.р (КамАЗ) фактично є 2-ю модельною генерацією цього класу автомобілів після 2-ї світової війни та на тлі існуючого переходу промислово розвинутих країн (зокрема ЄС) уже на 4-те післявоєнне покоління [1, 2] є технічно та морально застарілим.

Варто зазначити і суттєві відмінності у формуванні теоретичних основ оцінки прохідності та мобільності руху автомобіля бездоріжжям у СРСР (так зв. Східна школа) та США, Великобританії, зрештою нормативної бази країн-учасниць НАТО (так зв. Західна школа) [3]. Відповідно і у основі конструкторського синтезу нового покоління автомобілів цього класу необхідно використати сучасні теоретичні засади формування та оцінки прохідності – профільної та опорної. Щодо профільної, то очевидна практична ідентичність показників (кліренс, кути в'їзду / з'їзду тощо), од-

нак в основу оцінки потенційної опорної прохідності у нормативних базах США, Великобританії, ФРН покладено конструктивні параметри автомобіля, визначальні з умов взаємодії коліс з опорною поверхнею (ОП). Фактично відсутні у Східній школі нормування та оцінка мобільності руху бездоріжжям (максимізація потенційно можливої швидкості) відображені у нормативній базі і дослідженнях країн НАТО та регламентується не тільки вимогою забезпечення певних максимальних швидкостей руху на автодорогах з твердим покриттям (зараз – понад 100-110 км/год), але і вимогами щодо технічних характеристик, актуальних для руху бездоріжжям – нижня межа допустимої питомої потужності та допустимі, порогові віброколивні навантаження на екіпаж, як обмеження максимально допустимої швидкості руху автотехніки бездоріжжям, фактично вимоги до пружно-демпфуючих характеристик підвіски та шин.

### Основна частина

Методологія оцінки та формування прохідності автомобіля бездоріжжям із часів України в СРСР є достатньо добре відомою, попри фактичну відсутність галузевого інституту чи міжгалузевих науково-дослідних лабораторій з бюджетною підтримкою у цій сфері. В УРСР у 1950-70 роках дослідження прохідності колісних і гусеничних машин проводили проф. Біруля В.Г. (ХАДІ), проф. Безбородова Г. Б., проф. Кошарний М. Ф. (КАДІ).

У США, Канаді та Західній Європі, враховуючи практичну значимість досліджень у цій сфері насамперед для військової автотехніки, реальні дослідження набули розвитку ще під час 2-ої світової війни, зокрема інженерним корпусом армії США (US Army Corps of Engineers), та інформаційно базові методологічні засади цієї фактично іншої наукової школи стали доступними для науковців у СРСР тільки у 1970-80-х роках (переклади підручників М. Г. Беккера та Дж. Вонга [7, 8]). Однак, впродовж

останніх 35-40 років, уже після відомих публікацій відбувся значний розвиток досліджень у цій сфері та методології практично зорієнтованої оцінки мобільності руху автомобілів бездоріжжям [9-11 тощо].

Методологічно базові відмінності у дослідженнях Східної та Західної наукових шкіл полягають насамперед у:

- використанні різних оцінкових параметрів фізико-механічних властивостей (несної здатності) опорної поверхні / ґрунту. У Східній школі це класичні (для статичної механіки ґрунтів, типової для будівництва) – опір вертикальної деформації  $E$  (тобто модуль Юнга) та модуль опору зрізу у горизонтальній площині (реалії взаємодії колеса, що рухається, з ОП), що визначаються експериментально відповідно різними штампами (геометричні розміри останніх, однак, не є однозначно стандартизованими). При цьому у емпіричних залежностях подальшого розрахунку глибини колії/опору рухові значення  $E$  практично не використовуються, а питома сила опору зсуву (зрізу) ґрунту визначається на базі ще 2-х емпіричних показників ОП – внутрішнє зчеплення у ґрунті  $C_o$  (для зв'язних, не піщаних ОП) та кут внутрішнього тертя [5,6]. У Західній школі оцінка ОП базується на одному, комплексному показнику – так зв. конусному індексі  $CI$  (Cone Index) – штампом/пенетрометром з чітко визначеною геометрією конусного наконечника та тривалістю його втискання у ОП і фіксацією відповідного зусилля оператора. Це дозволяє отриманим значенням  $CI$  комплексно оцінити як опір ОП вертикальній деформації, так і зсуву у горизонтальній площині, що і є характерними для взаємодії колеса з ОП;

- відповідно різні методики оцінки та розрахунку показників, що характеризують рух бездоріжжям та базуються на емпіричних залежностях взаємозв'язку опору руху, деформації ОП – глибини колії з вказаними вище фізико-

механічними характеристиками – несною здатністю ОП.

- як у нормативній базі (військових стандартах щодо прохідності колісних машин [12 тощо]), так і у експериментальній оцінці та теоретичних дослідженнях різні акценти у формуванні базових показників оцінки прохідності. У Східній школі базовим є визначення так зв. питомого тягового зусилля на буксирному гаці, що є максимальною при відносно невеликих швидкостях руху, у межах 7-15 км/год, і при досягненні технічно можливої максимальної швидкості фактично дорівнює нулю та є практично малоінформативною для використання під час оцінки мобільності руху конкретним бездоріжжям. У Західній школі навпаки – вся методологія сформована під оцінку технічно можливої мобільності руху автомобіля конкретним бездоріжжям з визначеним емпірично значенням  $CI$ . (Під мобільністю руху бездоріжжям потрібно розуміти як оцінку непрохідності чи прохідності у конкретних умовах, так і квантифікацію – кількісну оцінку максимально можливої технічно швидкості руху конкретного автомобіля у цих умовах [3,11].

Враховуючи, що вже і у РФ з 2020 р. прийнято як державний стандарт (ГОСТ ИСО [13]) міжнародний добровільний ISO щодо оцінки фізико-механічних характеристик ОП, тобто фактично оцінку ОП на базі конусного індекса  $CI$ , то очевидно у світлі декларації Україною гармонізації з нормативною базою ЄС та НАТО необхідно очікувати і відповідного кроку з боку національного органу зі стандартизації. Тим паче це зумовлено як і реаліями поступового переходу Збройних Сил на нормативну базу НАТО, так і неминучим розвитком дорожнього будівництва (у інженерних військах з часів ленд-лізу II світової війни досі ще у практиці використання конусні пенетрометри, щоправда достатньо вже відсталі від сучасних конструкцій, стандартизованих у НАТО).

Відповідно в основу формування сучасної української наукової школи у сфері проектування і експлуатації автомобілів високої та прохідності варто покласти базові положення і відомі напрацювання власне Західної наукової школи (що вже реалізовано і у інших постсоціалістичних країнах – Польщі, Чехії та ін.). Очевидно, що враховуючи пріоритетну скерованість цих досліджень власне у сфері військової автотехніки, у доступних публікаціях фактично відсутні готові до безпосереднього практичного використання деталізовані алгоритми/методики комп'ютеризованого розрахунку/оцінки швидкісних характеристик руху конкретного автомобіля на тих чи інших опорних поверхнях, що деформуються – акцент зроблено на певних аспектах розрахунку/оцінки та аналізу отриманих результатів. (Зрозуміло також, щодо автомобілів, які фактично відсутні в українському парку). Отже, актуальність формування відповідних алгоритмів та методик розрахунку прохідності бездоріжжям на базі оцінки фізико-механічних характеристик ОП з використанням як показника конусного індекса CI є актуальною і практично необхідною. Розрахунок – моделювання руху автомобіля бездоріжжям – визначення сумарного опору рухові базується на відповідних емпіричних залежностях деформації конкретної ОП з отриманим значенням конусного індекса CI та конструктивно заданих показниках тиску/взаємодії ведучих коліс певної моделі автомобіля з ОП [3, 9-11]. Звично ці залежності є різними для зв'язних (глинистих) і піщаних поверхонь.

Як для проектних робіт по новому поколінню ВАТ, життєво необхідних для ЗСУ, так і для оцінки варіантів імпорту певних моделей автотехніки визначальним є оцінка потенційної прохідності конкретних конструкцій, що формується конструктивними параметрами автомобіля. Потенційна, конструкційна прохідність ВАТ у США – оцінка наван-

таження автомобіля на ОП базується на відповідному значенні введеного інженерним корпусом армії США – так зв. індексу мобільності даної моделі MI (mobility index) [16]:

$$MI = \left\{ \left( \frac{K_p * K_w}{K_T + K_g} \right) + K_L + K_C \right\} \cdot K_e * K_{TP} \quad (1)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт питомого тиску у контакті шин з ОП,  $K_p = W_g / 0,5 n D B_T$ :

$W_g$  – повна (номінальна) маса автомобіля (в фунтах, Lb; 1Lb=0.4536 кг);

$B_T$  – ширина протектора шини (в дюймах, 1 inch=25.4мм);

$R_T, D$  – статичний радіус та діаметр колеса (inch);

$n_T$  – кількість коліс;

$K_w$  – коефіцієнт навантаження на вісь, що формується емпіричними залежностями в межах певних порогових значень статичного навантаження на вісь, **табл. 1**.

Таблиця 1

Емпіричні залежності коефіцієнта навантаження на вісь  $K_w$

Статичне навантаження на вісь $Q^*$	Значення $K_w$
менше 2000Lb (< 0,906т)	0,553· $Q^{**}$
від 2,000Lb до 13,50 Lb (0,906 ÷ 6,129т)	0,033· $Q^{**} + 1.05$
від 13,500 до 20,000 Lb (6,129 ÷ 9,08т)	0,142· $Q^{**} - 0.42$
Більше 20,000Lb (>9.08т)	0,278· $Q^{**} - 3,1158$

де:  $Q^* = W_g / n$  – статичне навантаження на вісь (Lb, в фунтах);

$n$  – кількість осей;

$Q^{**} = W_g / 1000 * n$  – приведені навантаження на вісь;

$K_g$  – коефіцієнт ґрунтозацепів на шині,  $K_g = 1,05$  – за наявності протибук-

сувальних ланцюгів на шині,  $K_g = 1,00$  – за відсутності зазначених вище ланцюгів;

$K_T$  – коефіцієнт шин,  $K_T = (10 + V_T) / 1000$ , де  $V_T$  (inch);

$K_L$  – коефіцієнт навантаження на колесо;

$$K_L = \frac{W_g}{100 \cdot n / 2} \quad (2), \quad W_g \text{ (Lb, фунти)}$$

$K_C$  – коефіцієнт кліренсу (дорожного просвіту);

$K_C = hc / 10$ , де  $hc$  – значення кліренсу (inch, дюйми);

$K_{TR}$  – коефіцієнт типу трансмісії;  $K_{TR} = 1,0$  для автоматичної (гідромеханічної) трансмісії;  $K_{TR} = 1,05$  – для механічної трансмісії (позначення складових формул збережено загальноприйнятими у міжнародних, поза межами колишнього СРСР, дослідженнях теорії / динаміки автомобілів).

Очевидно, що наведений вище індекс мобільності  $MI$  є фактично оціночним показником потенційної прохідності автомобіля, що формується виключно конструктивними параметрами автомобіля і є основою для оцінки прохідності уже конкретним бездоріжжям з визначеним експериментально значенням конусного  $CI$ , допустима межа чого  $VCI$  визначається емпіричною залежністю [12, 13]:

$$VCI_{1.5} = 11.48 + 0.2MI - \left( \frac{39.2}{MI + 3.74} \right), \quad (3)$$

$$VCI_{50} = 28.23 + 0.43MI - \left( \frac{92.67}{MI + 3.67} \right), \quad (4)$$

де індекси 1,50 відповідають умовам проїзду 1-ї осі (передньої) та для наступного проїзду прокладеною колією 50-ї за послідовністю осі автомобілів (внаслідок ефекту ущільнення ОП при прокладеній першим автомобілем колії і, відповідно, зменшення опору ру-

хові це дозволяє наступним однотипним щодо ширини колії автомобілям збільшити швидкість руху або ж дозволяє проїзд важчим автомобілям із більшим навантаженням на вісь, але з тою ж самою шириною колії. Умова однотипності колії власне за цих умов є нормативною для практично домінуючого типу жув військової автотехніки провідних країн НАТО).

Отримане таким чином  $VCI$  (Vehicle Cone Index) фактично визначає нижню межу несної здатності ОП, з умов проїзду даним автомобілям з номінальним навантаженням. Значення  $CI$  для різних типів ОП коливаються у достатньо широких межах [8, 9, 11, 14] і суттєво залежать від ступеня зволоженості поверхні у конкретному випадку. Відповідно для оперативної оцінки прохідності і можливих швидкостей руху конкретним бездоріжжям в основу методології Західної школи (зокрема так зв. WES – методики армії США/НАТО) покладено експериментальне визначення  $CI$  на потенційному маршруті руху місцевістю за допомогою стандартизованого пенетрометра [13]. Конусний наконечник (кут конуса  $30^\circ$ ) із площею основи  $0,5 \text{ Inch}$  ( $3,23 \text{ cm}^2$ ) пенетрометра переміщується під час оцінки ОП оператором із регламентованою швидкістю  $3 \text{ cm/s}$  звично на глибину  $15\text{-}20 \text{ cm}$  із фіксацією відповідного необхідного зусилля оператора, що власне і формує конкретне значення  $CI$ .

Отримане (чи задане, на етапі теоретичних досліджень і проектних робіт у цій сфері) значення  $CI$  при відомому значенні індексу мобільності  $MI$  конкретного автомобіля дозволяє визначити глибину колії, сумарний опір рухові та, зрештою, і максимально можливої технічно швидкості руху автомобіля на конкретному маршруті. Відповідні емпіричні залежності, адекватність яких підтверджена і експериментально проведеними випробуваннями повнопривідних автомобілів КраЗ і КамАЗ, відомі [15].

Таблиця 3

Базові технічні параметри досліджуваних повнопривідних автомобілів

Модель	Вага, кг		Навантаження на осі, кг спорядж. маса		Шини Розмір	Потужн. двигуна, кВт	Колісна схема
	повна	спорядж.	Передня	Задні			
КамАЗ 4310	15205	8745	4315	4430	425/85R20	162	6x6
КамАЗ 4314	15950	8230	4280	3950	425/85R21	176	6x6
Урал 4320-14	15215	8025	4015	4010	425/85R21	174	6x6
КрАЗ 6322	22200	12700	6000	6700	530/70R21	243	6x6
МАЗ 6317	25150	13730	7150	6580	550/72R21	243	6x6
КрАЗ 5233	17300	10700	5800	4900	530/70R21	243	4x4
МАЗ 5316	17150	9500	6100	3400	16.00R20	243	4x4

Таблиця 2

Порівняльна оцінка прохідності повнопривідних автомобілів

ММР кПа	ММРк кПа	Модель	Сухий пісок, CI=250 кПа			Вологий пісок, CI=400 кПа			Вологий суглинок, CI=610 кПа		
			MN	VCI	V <sub>max.rv/r</sub>	MN	VCI	V <sub>max.rv/r</sub>	MN	VCI	V <sub>max.rv/r</sub>
290,8	201,4	КамАЗ 4310	2,29	18,49	30,2	3,56	17,56	32,78	5,44	16,84	34,14
273,9	185,4	КамАЗ 4314	2,44	18,31	30,8	3,91	17,38	32,9	5,97	16,71	34,12
262,5	184,4	Урал 432031	2,46	18,29	37,6	3,93	17,37	40,1	6,0	16,7	41,45
284,7	188,8	КрАЗ 6322	2,55	18,21	29,7	4,09	17,3	32,8	6,24	16,66	34,5
306,5	224	МАЗ 6317	2,14	18,57	26,5	3,42	17,63	30	5,22	16,9	31,8
336,7	185,8	КрАЗ 5233	2,55	18,21	32,2	4,09	17,3	34,67	6,24	16,66	36,0
365,2	194,8	МАЗ 5316	3,14	17,83	27,9	4,96	16,98	29,55	7,57	16,46	30,4

У табл. 2, як приклад, представлені отримані експериментально (щодо максимальної швидкості руху) і розраховані значення MI та VCI для певних типів ОП (зокрема піщаної сухої ОП згідно з випробуваннями [18]) для розповсюджен-

них в СНД/Україні повнопривідних вантажних автомобілів, базові технічні параметри яких подано у табл. 3.

Актуальність оновлення парку ВАТ ЗСУ обумовлює очевидну необхідність оцінки потенційної прохідності машин, зокрема і на стадії проектних робіт –

формування колісної схеми, загальної компоновки – власне навантага на осі є в цьому плані визначальною в умовах важкого бездоріжжя. Відомо, і експериментально підтверджено [15,18], що при співставних значеннях маси автомобілі Урал 4320 капотної компоновки мають кращу прохідність та мобільність руху бездоріжжям у порівнянні з безкапотними КамАЗ 4310, **табл. 2**. Це власне обумовлено меншою навантагою на передню вісь (попри відповідне збільшення на задні осі, що, однак, йдуть по уже прокладеній колії).

Результати (зокрема навантаження на осі) для ділянок зволоженого супіску та суглинку представлено щодо спорядженої маси автомобілів [15], для ділянки руху сухим піщаним покриттям – при повному завантаженні [18]. Автомобілі МАЗ не досліджувались експериментально, оцінка максимально можливої швидкості руху проведена на базі комп'ютерного моделювання у програмному середовищі MATLAB Simulink, опрацьований алгоритм чого засвідчив достатню збіжність результатів із результатами експериментальних заїздів КамАЗ, КраЗ, Урал [15].

Паралельно оцінковому показнику MI, що характеризує потенційну прохідність конкретної моделі автомобіля, у практиці армії США використовується так зв. номер прохідності MN (mobility number) з привязкою до конкретних значень характеристик опорної поверхні) бездоріжжям CI:

$$MN = \frac{CI \times W_T \times D_T}{W_T} \times \sqrt{\frac{\delta}{h_T}}, \quad (5)$$

де  $W_T$  – навантаження на колесо (Lb, фунти);

$\delta$  – деформація шини під номінальним навантаженням на твердій опорній поверхні/бетоні (inch, дюйми);

$D_T$  – статичний діаметр колеса (inch, дюйми), без навантаження;

$h_T$  – висота шини (до диска колеса) (inch, дюйми).

Водночас для оцінки потенційної прохідності автомобільних конструкцій в армії Великобританії та відповідному військовому стандарті [12], а також в низці інших країн НАТО, використовується дещо інший формально, але близький по суті до MI показник – так зв. максимальний ефективний тиск MMP (кПа):

$$MMP = \frac{K \times W_g}{2 \times n \times B_T^{0.85} \times D_T^{1.15} \times \sqrt{\frac{\delta}{h_T}}}, \quad (6)$$

де значення  $W_g$ ,  $B_T$ ,  $D_T$ ,  $\delta$ ,  $h_T$  уже у метричній системі (м, кН);

$K$  – коефіцієнт осей, чисельні значення якого залежно від кількості осей і співвідношення ведучих та ведених подано у роботі [14].

Аналіз отриманих результатів дає змогу констатувати:

- до показників, що характеризують потенційну прохідність автомобіля бездоріжжя на основі власне конструктивних параметрів і характеристик, належать MI (США) та MMP (Великобританія), які відображені і у відповідних національних військових стандартах [12].

- дані показники однак базуються на умові рівномірного розподілу

навантаг на осі, звичній і раціональній для автомобілів загального призначення з одинарними шинами на осях, призначених для експлуатації на автодорогах з твердим покриттям.

Водночас, як результати експериментальних досліджень [15, 18 тощо], так і імітаційного моделювання руху повнопривідних автомобілів бездоріжжям, зрештою і практики експлуатації автомобілів однакового класу тоннажності Урал 4320 і КамАЗ 4310 (**табл. 2**) різних схем компоновки – капотної і безкапотної, з різними значеннями навантажень на передню вісь, свідчать про очевидну перевагу автомобілів капотної компоновки з меншою навантагою на передню вісь щодо прохідності і вищої мобільності (максимальних швидкостей руху) бездоріжжям. Колеса передньої осі, з аналізу досліджень [4–6, 9, 19] ви-

конують понад 60-65 %, від загального зусилля переборення опору рухові/формування колії на ОП, що деформуються.

Відповідно опрацьовано коригування визначення ММР власне тільки через навантагу передньої осі ММРк (табл. 2), що фактично дозволяє вважати схему компоновки і формувати раціональний розподіл навантаг на осі для бездоріжжя, передусім з умов формування колії. Необхідно констатувати, що при ідентичних значеннях ММР для КамАЗ та Урал отримані уже різні значення ММРк, що однозначно добре корелюють з результатами оцінки мобільності руху на трьох видах бездоріжжя, табл. 2.

### Висновки

Опрацьована корекція структури визначення показника ММР з приведенням власне до передньої осі, як визначальної, та відповідно використанням взамін повної маси  $W_g$  значення навантаги на передню вісь –  $2W_T$ , дає більш коректну оцінку мобільності руху/швидкості бездоріжжям автомобілів різних схем компоновки, табл. 2 (показник ММРк). Очевидно, що і емпіричні значення коефіцієнту осей  $K$  підлягають відповідному корегуванню.

Показник  $MI$  (mobility index), що фігурує і у нормативній базі армії США [12], враховує більшу, порівняно з ММР, кількість факторів, конструктивних параметрів автомобіля, але теж базується на припущенні рівномірного розподілу навантаг на осі (зрештою в арміях провідних країн НАТО практично виключено різнотипність схем компоновки і використання різних моделей автомобілів, капотних і безкапотних, в одному класі тоннажності, як от Урал/КамАЗ чи КрАЗ/МАЗ, що продиктованого логістикою технічного сервісу, ремонту і мінімізацією номенклатури запасних частин).

Водночас варто констатувати сучасну тенденцію поступового переходу армій НАТО на нове покоління автотех-

ніки з появою нових моделей вже капотної/напівкапотної компоновки (як от MB Zetros) у середньо- та великотонажному класі, що обумовлено як покращенням протимінного та балістичного захисту екіпажу, так і прохідності. Існуюча конфігурація визначення  $MI$ , що сформована ще наприкінці 1960-х років [17], очевидно теж потребує змін відповідно до сучасного розвитку конструкцій і вимог до них в умовах мобільних військових дій. Зокрема це стосується і диференціацій однакового значення коефіцієнта навантаження на вісь  $R_w$  у діапазоні навантаг на осі від 1 до 6 т (табл. 1), в якому і зосереджено біля 90 % автопарку сучасних армій, на три окремі значення щодо навантажень на вісь 1-1,5 т (надлегкі, Ultra-Light), 2-2,5 т (легкі, Light), 4 т (medium, середні) та 6,0 т (medium, середні), що визначальним чином впливають на прохідність/мобільність автотехніки цих класів, нормативні вимоги сучасних стандартів, до яких суттєво відрізняються [12]. Подруге визначення  $MI$  (1) базується на умові рівномірного розподілу номінальної навантаги на осі, що не завжди є коректним щодо конкретних конструкцій, тим паче різних компоновочних схем (капотна чи безкапотна). Ця ж обставина є характерною і для другого стандартизованого у НАТО показника конструктивної прохідності автомобіля – ММР (7), що нівелює реальні відмінності у мобільності однотипних та масогабаритних автомобілів.

### References

1. Lutz J. (2003). Mobility of Ground Vehicles. US Military view a overview primer and reference source guide. Quent systems Inc., 101. Retrieved from [https://www.slideshare.net/quent-systems/on\\_military\\_vehicle\\_mobilty\\_2003](https://www.slideshare.net/quent-systems/on_military_vehicle_mobilty_2003)
2. Army Truck Program. (June 2010). Tactical Wheeled Acquisition Strategy. Report to the Congress, Washington,



Headquarters, Department of the Army, 105.

3. Skibiliaev M. K., Shestakov V. M. (2009). Osnovnye programy razvitiya kole-snykh mashyn mnogotselevogo naznache-nia sukhopotnykh voisk USA na period do 2025 goda / Bronetankovoe vooruzhenie e tekhnika. Voyennaia avtomobilnaia tekhnika Vooruzhonykh Sil Rossiyskoy Federatsyi. [The main programs for the devel-opment of multi-purpose wheeled vehicles of the US ground forces for the period up to 2025 / Armored weapons and equipment. Military vehicles of the Armed Forces of the Russian Federation]. Moscow, 1, NII-21, 50-54.

4. Aheykyn Ya. S. (1981). Prokhodymost' avtomobyley. [Vehicle pa-tency]. Moscow, Mashynostroeniye, 230.

5. Vol'skaya N. S. (2003). Evaluation of the patency of a wheeled vehicle when driving on an uneven ground surface. Moscow, MGIU, 224.

6. Larin V. V. (2004). Theory of movement of all-wheel drive vehicles. Moscow, Ed. MSTU im. N.E. Bauman, 391.

7. Becker M. G. (1973). Introduction to the theory of terrain-machine systems. Moscow, Engineering, 520.

8. Wong J. (1982). Theory of ground vehicles. Moscow, Mashinostroenie, 284.

9. Wong Y.J. (2010). Terramechanics and off road vehicles engineering. Second. Ed. London, Butterworth – Hannemann, 482.

10. Robert Brigantic, Jean Mahan. (2004). Defence Transportation Algor-?thms, Models and Application for the 21" century. Retrieved from <https://www.elsevier.com/books/defence-transportation-algorithms-models-and-applicatijns-for-the-21st-century/brigantic/978-0-08-044405-5>

11. Taghavifar H., Mardani A. (2017). Off-road Vehicle Dynamics, Analysis, Modelling and Optimization. Retrieved from

<https://www.springer.com/book/9783319425191>

12. Grubel M. G., Kraynyk L. V., Andrienko A. M. (2020). Basics of the formation of the national base regarding the passability of wheeled military vehicles. Weapon systems and military equipment, Kharkiv, ed. KhNUPS, 2, 62, 7-17.

13. Standartinform. (2017). GOST R ISO 22476-1-2017. Geotechnical studies and tests. Field tests. Part 1. Static and piezostatic probing with an electric probe. Moscow, ed. Standartov, 32.

14. Grubel M. G., Kraynyk L. V., Kuprinenko O. M. (2019). Methodology for evaluating the support patency of wheeled military vehicles. Armament and military equipment, Kyiv, Kind. TsNDI OVT, 4, 24, 22-31.

15. Grubel M. G. Kraynyk L. V., Khoma V. M. (2020). Simulation modeling of the movement of wheeled military vehicles off-road and assessment of its adequacy. Ukraine Highway. Kyiv, 2, 21-28.

16. Wong Y. Ch. Lim H.H.S., Chan W. G. (2016). An Assessment of land vehicles trafficability/DSTA Horizons, 54-60.

17. Rula A. A., Nuttall C. J Jr.(1971). An Analysis of ground mobility models (ANAMOB). Retrieved from <https://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDa?Locatijn=U28doc=GetTRDoc.pdf&AD=0886513>

18. Ostretsov A. V., Esakov A. E., Sharypov V. M. (2014). A comparative assessment of the roadworthiness of KamAZ-4350, KamAZ-43114 and Ural 4320-31 cars on loose sand//Izvestia MGTU "MAMA", 1, 19, 1, 50-5419.

19. Gimenez A. P., Kovacs L., Holz D., Telchmann M., Koveczes J. (Sept. 25-27. 2017). Dynamic simulation of wheeled vehicles: model and algorithms. Proc. of the 19 th Internationals 14 th European – African Regional Conference of the ISTVS. Budapest.