

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДВІСКИ ПОВНОПРИВІДНОГО АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯ

**Михайло Манзяк<sup>1</sup>, Віталій Хома<sup>2</sup>, Михайло Грубель<sup>1</sup>, д. т. н.,  
Любомир Крайник<sup>2</sup>, д. т. н., Ярослав Сало<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного,  
вул. Героїв Майдану, 32, м. Львів, Україна,*

*e-mail: e-mail: Manziakdoc@gmail.com, m.g.grybel@gmail.com*

<sup>2</sup> *Львівський національний університет природокористування,  
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,*

*e-mail: homa.v@hotmail.com, l.kraunyk@gmail.com*

<sup>3</sup> *Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого,  
вул. Л. Мартовича, 15, смт Магерів, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,  
lfilia@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.096>

### **Манзяк М., Хома В., Грубель М., Крайник Л., Сало Я. Оцінка ефективності підвіски повнопривідного автомобіля для бездоріжжя**

Умови збройних конфліктів, зокрема російсько-української війни, виявили особливу потребу в забезпеченні високої мобільності військової автомобільної техніки (ВАТ) протягом останніх десяти років. Очевидно, що це також зумовлює зростання вимог до конструкцій автотехніки в умовах бездоріжжя – насамперед щодо підвіски. Проаналізовано вплив характеристик підвіски та шин на обмеження максимально можливих швидкостей руху бездоріжжям. Обмеження максимальних швидкостей руху формується залежно від гранично допустимих значень рівня віброколивних навантажень на водія та екіпаж, збурених нерівностями, мікропрофілем бездоріжжя та відповідними передавальними функціями підвіски й шин.

Стаття присвячена визначенню впливу ходу підвіски на швидкість руху високомобільної багатоцільової колісної транспортної машини на прикладі наявних в ЗС України американських HMMWV. Для цього були використані характеристики підвіски, шин та коливної системи транспортного засобу. Результати оцінки вертикальних вібропришвидшень показали, що більший хід підвіски дозволяє уникнути пробою підвіски в діапазоні швидкостей 10-60 км/год і формує відповідну мобільність руху та ресурс роботи підвіски в умовах бездоріжжя. У результаті дослідження отримано рекомендації щодо необхідних значень амплітуди/ходу підвіски з умов забезпечення необхідної мобільності колісної автотехніки. Представлена методика оцінки ефективності підвіски при проїзді перешкоди дозволяє кількісно оцінити максимальну швидкість руху з урахуванням кінематики конкретних конструкцій. Це є важливим на етапі проектування та формування відповідної законодавчої нормативної бази, зокрема для важкої автотехніки.

**Ключові слова:** пробій підвіски, вертикальні вібропришвидшення, колісна військова автомобільна техніка, імітаційна модель, опорна поверхня, пружно-демпфуюча характеристика.

### **Manziak M., Khoma V., Hrubel M., Krainyk L., Salo Ya. Evaluation of the off-road suspension efficiency for all-wheel-drive vehicles**

Armed conflicts, especially the Russian-Ukrainian war, have emphasized the importance of high mobility for military vehicles. This requirement increases the need for off-road vehicle designs, especially regarding suspension systems. The maximum speed limitations are determined based on the vibration loads experienced by the driver and crew, caused by irregularities, micro-profile of the terrain, and the respective transmission functions of the suspension and tires.

This article focuses on determining the influence of suspension travel on the speed of movement for a highly mobile multi-purpose wheeled transport vehicle, using the American HMMWV vehicles as an example, which are currently used by the Ukrainian Armed Forces. The study took into account the suspension characteristics, tire properties, and oscillation system of the vehicle. Results show that a larger suspension travel avoids suspension failure within the speed range of 10-60 km/h and provides the necessary mobility and operational lifespan of the suspension system in off-road conditions. The study also obtained recommendations concerning the required values of suspension travel to ensure the necessary mobility of wheeled vehicles, which is crucial during the design phase and the establishment of corresponding legislative regulations, particularly for heavy automotive vehicles. The methodology presented for evaluating suspension efficiency during obstacle traversal allows for quantitatively assessing the maximum speed with consideration of the kinematics of specific vehicle designs.

**Key words:** suspension failure, vertical vibration accelerations, military wheeled vehicles, simulation model, support surface, elastic-damping characteristics.

**Постановка проблеми.** Максимальні швидкості руху бездоріжжям, насамперед сухим

або з малим вмістом вологи, обмежуються не тільки тяговошвидкісними характеристиками

сучасної автотехніки, але насамперед досягненням граничних, дискомфортних для організму водія/екіпажу віброколивних навантажень. Особлива проблема виникає під час руху автомобілів бездоріжжям за умов виникнення так званого пробою підвіски, що внаслідок фактично жорсткого механічного сполучення кузова автомобіля і нерівностей опорної поверхні зумовлює різке, практично на порядок ударне збільшення навантажень на водія/екіпаж. Для військової автотехніки (ВАТ) додатково це ще і зрив прицільності ведення вогню під час руху.

Власне пробій підвіски є критичним оціночним показником ефективності підвіски автомобіля в умовах бездоріжжя. Виробники військових автомобілів у процесі поточного переходу на наступне покоління машин вже активно працюють над впровадженням незалежних довгоходових підвісок на нових моделях, що дозволяє знизити невіднесене маси та вібронавантаження кузова та екіпажу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За умов руху бездоріжжям реального театру бойових дій основним обмежувальним чинником швидкості руху є гранично допустимі порогові значення віброколивних навантажень. Оцінці останніх у взаємозв'язку з характеристиками підвіски автомобілів загального призначення та мікропрофілем доріг присвячено низку досліджень [1; 4; 5], в основу яких покладено граничні, порогові рівні віброколивних навантажень згідно з міжнародним добровільним стандартом ISO [11]. Однак щодо руху бездоріжжям слід констатувати недостатню увагу цьому питанню у вітчизняних роботах (що частково пояснюється як відсутністю відповідних вимог у військових стандартах щодо ВАТ як колишнього СРСР, так і сучасної РФ та відсутністю національних ДСТУ В щодо ВАТ [2]). За результатами досліджень можна стверджувати, що віброколивні навантаження, окрім втрати і відчутного зниження фізичної активності екіпажу, також мають суттєвий вплив на ефективність ведення бойових дій. Зокрема, точність ведення вогню, імовірність ураження цілей після 6-8 годин віброколивних навантажень під час руху бездоріжжям знижується у 2-2,3 рази порівняно зі свіжим екіпажем.

Значення повного ходу підвісок повнопривідних автомобілів, переважно ресорних, залежного типу, що складають основу сучасного парку ВАТ ЗСУ, здебільшого в межах 170-270 мм (зрештою, як волонтерських джипів-кросоверів загального призначення, що наразі є основою поповнення автопарку). Поряд з тим на військових НММВВ М917, та й його наступнику Oshkosh L-ATV значення повних ходів

(амплітуди) підвіски коливаються відповідно в межах 325-420 мм [6].

Величина ходу підвіски під час руху бездоріжжям впливає на вірогідність та частоту виникнення «пробойів» підвіски і передачу пікових вертикальних навантажень на кузов автомобіля. Відповідно як при розробці/поставках відповідної автотехніки, так і при формуванні національного ДСТУ В щодо ВАТ необхідно звернути увагу та нормувати цей параметр, очевидно з розмежуванням вимог щодо машин переднього краю та машин тилового транспорту, що експлуатуються переважно на автодорогах з твердим покриттям.

Хід підвіски колісної військової автомобільної техніки значно впливає на середню швидкість руху військових та виконання бойового завдання в умовах бездоріжжя. За даними зарубіжних досліджень, перехід на незалежну підвіску дозволяє збільшити комфортність і середню швидкість руху на 50-70 % [2]. Середні швидкості руху колони ВАТ бездоріжжям в арміях НАТО вищі порівняно з пострадянськими державами, з Україною включно. Отже, для успішного виконання бойового завдання потрібно мати автомобільну техніку з підвіскою, яка забезпечує максимальну ефективність ведення бойових дій на бездоріжжі.

**Постановка завдання.** Завданням дослідження є опрацювання в середовищі MATLAB Simulink імітаційної моделі проїзду зразка повнопривідної ВАТ через дискретну перешкоду типу "лежачий поліцейський". Моделювання проводиться з метою відтворення процесу роботи незалежної підвіски з точки зору пробою підвіски та його впливу на середню швидкість руху. Також метою роботи є обґрунтування необхідного значення ходу підвіски з метою запобігання пробою при русі ВАТ в типових умовах бездоріжжя.

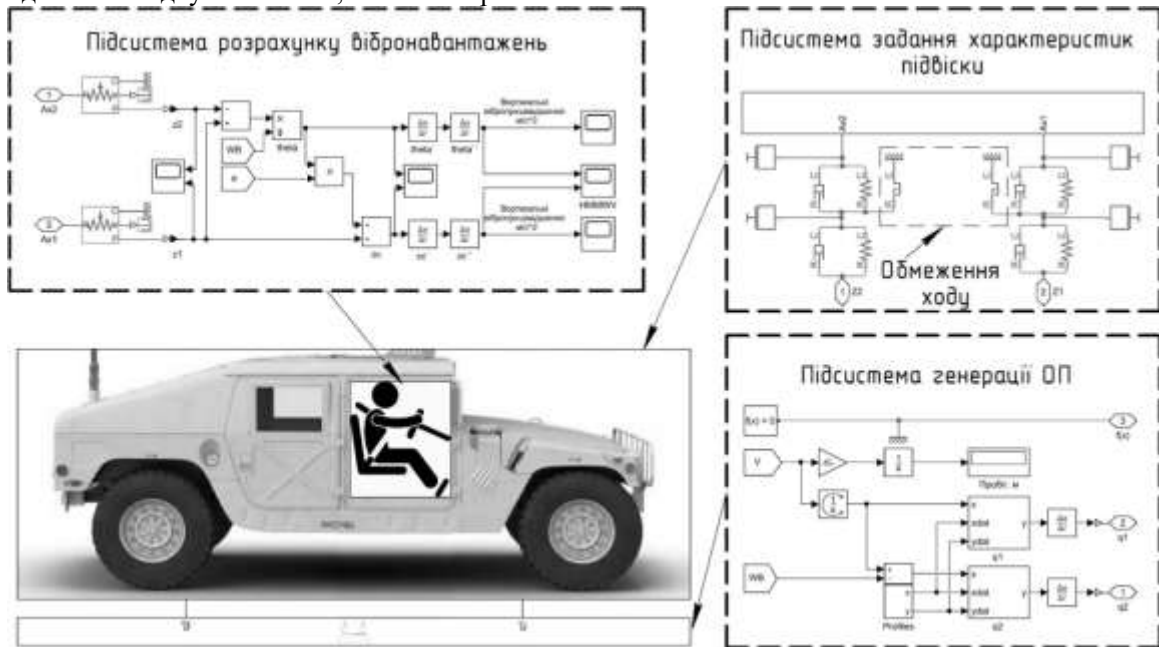
**Виклад основного матеріалу.** Базовою проблемою оцінки відповідності характеристик автомобілів для бездоріжжя є власне велика різноманітність та нестабільність опорних поверхонь для проведення експериментальних досліджень відповідності необхідним вимогам. Переважно для оцінки характеристик підвіски у практиці країн НАТО для цього використовують штучні стандартизовані тверді поверхні типу «бельгійська бруківка» – щодо оцінки віброколивних навантажень та максимально можливих швидкостей руху в цих умовах [2]. Щодо нещодавніх нових вимог, насамперед в армії США щодо амплітуди ходу підвіски колісної ВАТ понад 400мм, то оцінка базується на експериментальному замірі цього параметра в статистиці [6], що, однак, не дає оцінки ефективності підвіски в плані оцінки відповідних віброколивних

навантажень на кузов, екіпаж та насіння підвіскою коливань кузова при проїзді граничної з умов пробою перешкоди. З врахуванням методології закордонних досліджень ефективності підвіски ВАТ [9] відповідно до поставлених завдань створена на попередніх етапах дослідження імітаційна модель [3] потребує незначних змін. Зміни полягають у доробці підсистеми обмеження ходу та заданні пружно-демпфуючих характеристик буфера у крайніх положеннях підвіски. За аналогією з оцінкою ефективності роботи підвіски автомобілів загального призначення у ролі випробувального бар'єру обрано стандартизовану для автодоріг перешкоду – так званий пристрій для обмеження швидкості руху – «лежачий поліцейський». Оскільки нормативно «лежачий поліцейський» має висоту 50 мм, а хід підвіски переважної більшості сучасних закордонних зразків ВАТ становить 300 – 400 мм, то пробою підвіски не відбуватиметься, з іншої сторони

перепади висот на бездоріжжі сягають до 400 мм [4], тому виходячи з цього цілком логічно промоделювати пристрій «лежачий поліцейський» із збільшеною до 150 мм висотою.

У всьому іншому структура моделі залишається без змін і базується на аналізі публікацій за вказаною тематикою та сформована з таких етапів:

- задання дискретної перешкоди типу «лежачий поліцейський» відповідно до ДСТУ 4123:2006 [7];
- задання технічних характеристик автомобіля та параметрів підвіски;
- розрахунок вертикальних та поздовжніх коливань кузова автомобіля при русі з заданою швидкістю;
- визначення максимально можливої швидкості проїзду через перешкоду без досягання пробою підвіски.



**Рис. 1.** Блок-схема моделі проїзду зразка колісної ВАТ через дискретну перешкоду  
**Fig. 1.** Block diagram of a model of passage of a wheeled MV sample through a discrete obstacle

За прототип обрано зразок ВАТ, який широко використовують у підрозділах ЗС України і який фігурує в багатьох наукових дослідженнях [2; 6; 8–10], а саме високомобільний багатоцільовий колісний транспортний засіб НММВВ (англ. *the High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle*). З іншого боку, модифікації НММВВ комплектувалися різними незалежними підвісками, що при ідентичності решти технічних характеристик дає змогу виокремити вплив ходу підвіски на швидкість руху.

Для цього використано характеристики підвіски, шин та в загальному коливної системи, що впливають на забезпечення плавності руху зазначеного зразка. Для цього опрацьовано публі-

кації [8–10], де досліджувалася модифікація НММВВ масою 2000 кг, обладнана незалежною підвіскою ТАК-4 виробництва Oshkosh Corporation з ходом підвіски до 355 мм (модифікація М1114) та незалежною підвіскою з ходом до 228 мм (модифікація М998). Вихідна модель базується на основі технічних характеристик, що наведені в таблиці.

Усі розміри, які необхідні для відтворення кривизни профілю «лежачого поліцейського» взяті з ДСТУ 4123:2006 «Пристрій примусового зниження швидкості дорожньо-транспортної техніки на вулицях і дорогах» [7] та збільшені втричі, отриманий таким чином мікропрофіль перешкоди наведено на рис.2.

Таблиця. Короткі технічні характеристики HMMWV [8]

Table. Brief technical specifications of HMMWV [8]

Параметр	Значення	
	Передня вісь	Задня вісь
Споряджена маса, кг	2000	
Підресорена маса, кг	950	800
Непідресорена маса, кг	125	125
Сумарна жорсткість підвіски, Н/м	150 000	150 000
Сумарне демпфування амортизаторів, Н*с/м	30 000	30 000
Хід підвіски, м	0,355 (0,228)	0,355 (0,228)
Сумарна жорсткість шин, Н/м	400 000	400 000
Віддаль до центру мас, м	1,07	2,23
Колісна база, м	3,3	
Момент інерції кузова, кг*м <sup>2</sup>	4332	

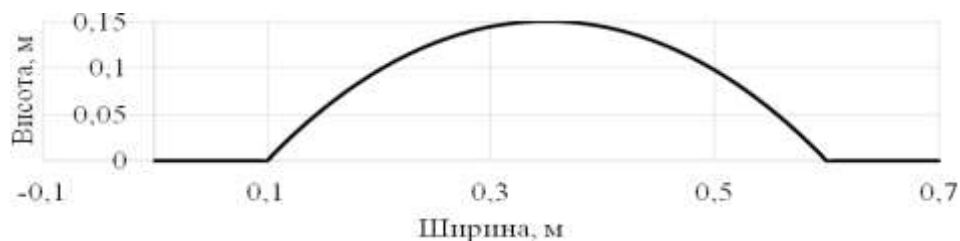


Рис. 2. Поперечний профіль перешкоди збільшеної висоти типу «лежачий поліцейський»

Fig. 2. The transverse profile of the obstacle of increased height of the «speed bumps» type

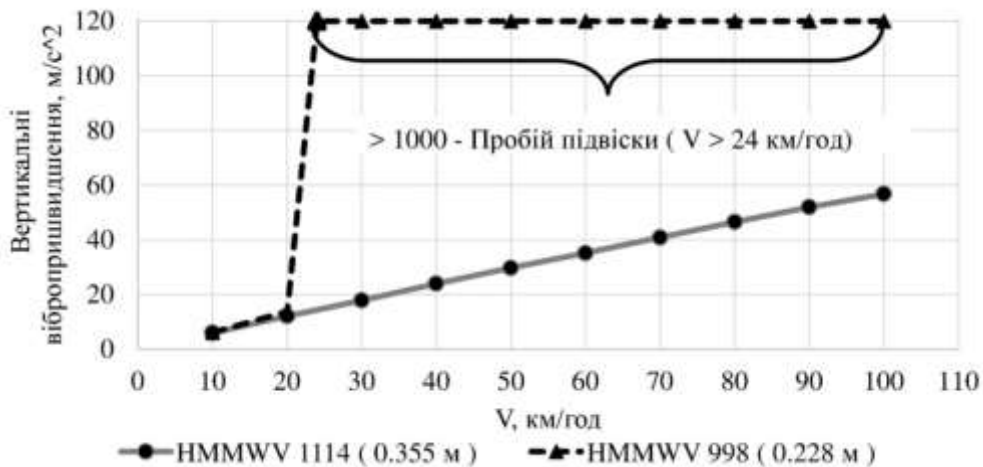


Рис. 3. Вібропришвидження при проїзді HMMWV через «лежачий поліцейський» висотою 150 мм

Fig. 3. Vibration acceleration when HMMWV passes through speed bumps 150 mm high

На рис. 3 наведено результати оцінки вертикальних вібропришвиджень при проїзді HMMWV M1114 та HMMWV M998 через дискретну перешкоду висотою 150 мм. Відповідно до завдання дослідження з метою якісної оцінки отриманих у процесі моделювання результатів (див. рис. 3) варто відзначити, що більший хід підвіски дозволяє уникати пробою підвіски в діапазоні швидкостей 10 – 60 км/год в той час, коли при малому ході підвіски пробій виникає вже на малих швидкостях – 24 км/год, а отже, цей технічний параметр поряд з показниками плавності формує середню швидкість руху. (Водії звично знижують швидкість руху до порогових значень

уникнення пробою підвіски, що власне, є одним із чинників поточного процесу розробок та появи нових моделей ВАТ в усіх вагових категоріях з суттєво збільшеними амплітудами ходу підвісок). Достатня адекватність вищепрацьованої моделі руху в програмному середовищі MATLAB Simulink з результатами експериментальних досліджень на автодорогах тарейальному бездоріжжі [3; 5] дозволяє констатувати очевидну доцільність використання запропонованої схеми випробувань оцінки ефективності підвісок. Очевидно, що для впровадження її у нормативну базу оцінки доцільні ще подальші експериментальні дослідження як щодо інших моделей автомобілів, так і узага

льнення взаємозв'язку отриманих спектрів віброколивних навантажень, отриманих під час цього тесту, з навантаженнями під час руху типовими видами бездоріжжя.

**Висновки.** З появою незалежної довгоходової підвіски Timoney для військової автотехніки для бездоріжжя та відповідного підвищення швидкостей руху в цих умовах, купівлі ліцензій Timoney основними виробниками ВАТ – Oshkosh та інших, у т. ч. КамАЗ – модель КамАЗ 43502, що вже як шасі легкоброньованих машин з'явилися на фронті, власних аналогічних розробок інших виробників, стала очевидною тенденція переходу нового покоління цієї автотехніки на підвіски даної схеми.

Реалії неминучого оновлення застарілого автопарку ЗС України, зрештою і повнопривідної автотехніки в аграрній та лісгосподарській сферах, зумовлюють очевидну актуальність відповідних вітчизняних розробок.

Вищевикладена методика оцінки ефективності підвіски при проїзді одиничних регламентованих перешкод на автодорозі І категорії дозволяє кількісно оцінити максимальну швидкість руху з умов кінематики конкретних конструкцій підвіски, що є значимим як на етапі проєктних робіт, так і при формуванні відповідної законодавчої нормативної бази, насамперед щодо ВАТ, та випробувань щодо оцінки ефективності підвіски. Стабільність характеристик опорної поверхні у цьому випадку дозволяє достатньо коректну і порівняльну оцінку як різних конструкцій підвіски однотипних машин, так і різних автомобілів. Звично, що використання як випробувальної дільниці так званої «бельгійської бруківки», прийнятої в більшості армій НАТО для оцінки ефективності підвісок в умовах бездоріжжя, дає більш повну картину щодо рівня віброколивних навантажень і необхідність побудови такої ділянки в Україні очевидна. Однак остання не дозволяє дати оцінку дискомфорту пробою підвіски і, відповідно, ефективності так званих довгоходових підвісок з збільшенням амплітуди ходу до 400-440 мм, що стали характерними віднедавна для нової генерації ВАТ, як один з визначальних чинників підвищення мобільності – середніх швидкостей руху бездоріжжям. Нестабільність мікропрофілю та фізико-механічних характеристик останнього фактично унемо

жливлює як коректну кількісну оцінку відповідності вібронантажень певним нормативним пороговим значенням, так і порівняльний аналіз різних конструкцій.

### Бібліографічний список

1. Бур'ян М. В. Плавність руху автобусів у взаємозв'язку з характеристиками підвіски та сидіння: дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2020. 151 с.
2. Грубель М. Г., Крайник Л. В. Прохідність військових автомобілів: монографія. Київ, Професіонал, 2023. 182 с.
3. Грубель М. Г., Манзяк М. О., Хома В. В., Ланець О. В., Андрієнко А. М. Імітаційне моделювання мобільності колісної військової автомобільної техніки за умов руху бездоріжжям. *Науково-технічний збірник*. Львів, 2023. №28(2023). С. 27-35.
4. Колебания в транспортных машинах: монография / Е. Е. Александров и др.; ред. Е.Е. Александров. Київ: ВІПОЛ, 1996. 256 с.
5. Крайник Л. В., Бурян М. В., Ланець О. В., Кохан В. Ф. Плавність руху як основа комфортності автомобілів: формування нормативної бази «vehicle road comfort». *Автошляховик України*. 2022. № 3. С. 2-8.
6. Манзяк М. О., Крайник Л. В., Грубель М. Г. Тенденції розвитку конструкцій підвісок військових автомобілів. *Системи озброєння та військової техніки*. 2022. № 1 (65). С. 27-35.
7. Пристрій примусового зниження швидкості дорожньо-транспортної техніки на вулицях і дорогах: ДСТУ 4123:2006. [Чинний від 2006-02-03]. Київ: Держстандарт України, 2006. 6 с. (Національний стандарт України). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=25486](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25486) (дата звернення: 02.05.2023).
8. Advanced Suspension and Control Algorithm for U.S. Army Ground Vehicles. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA580948.pdf> 2331 (Last accessed: 02.05.2023).
9. Fedaravicus A. et al. Dynamics Study of the carrier HMMWV M1151. *Vibroengineering*. 2013. Vol. 15. P. 1619-1626.
10. Improvement on ride and handling performance in HMMWV suspension control using dual acting semi-active suspension system. *10th Asian Control Conference (ASCC)*. 2015. doi:10.1109/ASCC.2015.7244474 (дата звернення: 02.05.2023).
11. ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997. 36 p. URL: <https://www.iso.org/standard/7612.html> (дата звернення: 02.05.2023).

Стаття надійшла 18.05.2023