

УДК 629.113.001 (075.8)

DOI: 10.33868/0365-8392-2025-1-282-35-43

© Т. Л. Крайник, головний конструктор
 ORCID: 0009-0003-7530-6194
 e-mail: taras.kraynyk@gmail.com
 (АТ «Укравтобуспром»);
 © М. О. Манзяк, ад'юнкт
 ORCID: 0000-0002-5634-9231,
 e-mail: mishael1780@ukr.net
 (Національна академія сухопутних
 військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного)

© Taras Kraynyk, Chef-Designer
 ORCID: 0009-0003-7530-6194
 e-mail: taras.kraynyk@gmail.com
 (JSC «Ukratobusprom»);
 © Mykhaylo Manziak, Postgraduate
 ORCID: 0000-0002-5634-9231,
 e-mail: mishael1780@ukr.net
 (Hetman Petro Sahaidachnyi
 National Army Academy)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ БЕЗДОРІЖЖЯ

EXPERIMENTAL EVALUATION OF CAR SUSPENSION EFFICIENCY IN OFF-ROAD CONDITIONS

Анотація. Опрацьовано методуку та проведено експериментальні дослідження з оцінки ефективності двох типів підвіски автомобілів підвищеної прохідності для бездоріжжя, насамперед з умов обмеження швидкості руху через вібронавантаження на екіпаж. Враховуючи нестабільність фізико-механічних характеристик реального бездоріжжя та практику нормативних баз армій НАТО обрано випробувальні ділянки з перешкодами руху та твердою опорною поверхнею. Нещодавня поява у військовій автотехніці незалежних підвісок типу Timoney/Oshkosh TAK-4 зі збільшеною у 1,7-2,2 рази амплітудою ходу обумовлює, окрім звичної оцінки вібронавантаженості – комфортності руху, додатково і оцінку ефективності кінематики підвіски у поєднанні з пружно-демпфуючими характеристиками. Проведено експериментальні дослідження двох легких автомобілів, що використовуються Збройними Силами в умовах бездоріжжя, – ударного автомобіля переднього краю – LTV02 „Мамай” (з незалежною підвіскою) та УАЗ 3151 (з підвіскою залежного типу), з фіксацією вібронавантажень як в умовах визначених тестових площадок, так і реального бездоріжжя.

Ключові слова: автомобілі, бездоріжжя, підвіски, кермовий привід, оцінка ефективності.

Abstract. This paper presents a scientifically grounded methodology for evaluating the vibration impact and ride comfort of wheeled military vehicles under off-road operating conditions. The study focuses on the influence of suspension parameters and structural layout on the transmission of vibrations to the vehicle crew, particularly the driver. Two commonly used light tactical vehicles were selected for comparative experimental investigation: the LTV02 “Mamai” with a modern independent suspension system, and the UAZ-3151, equipped with a traditional dependent suspension. Experimental tests were conducted using standardized speed-reducing obstacles, paved surfaces, and sections of deformed terrain resembling real operational environments.

The methodology includes both direct measurement of vibration acceleration levels transmitted to the driver's seat and spectral analysis of the obtained signals in accordance with ISO 2631-1. The experimental setup incorporated accelerometers installed on the seat base and vehicle chassis, with subsequent analysis performed using MATLAB-based algorithms. Particular emphasis was placed on assessing the critical speeds at which suspension bottoming occurs—serving as a practical criterion for determining suspension performance under dynamic impact conditions.

The study highlights the significance of implementing long-travel independent suspensions (with stroke amplitudes increased by a factor of 1.7–2.4), as seen in modern NATO-standard vehicles such as those utilizing Timoney or Oshkosh TAK-4 systems. The “Mamai” vehicle demonstrated substantially reduced levels of vertical vibration and extended permissible travel speeds, while the UAZ-3151 showed high levels of vibration exposure even at moderate speeds. The research underlines the importance of updating national technical regulations for military vehicle suspensions to align with modern combat requirements and to improve crew endurance, vehicle survivability, and mission effectiveness in off-road conditions.

Keywords: military vehicles, suspension effectiveness, vibration exposure, experimental testing, spectral analysis, off-road dynamics, ride quality, tactical mobility.

Вступ

Мережа автомобільних доріг без твердого покриття в Україні є значно більшою у порівнянні з країнами ЄС, що обумовлює і відповідну актуальність ефективності підвісок ав-

томобілів з умов віброколивних навантажень на організм людини. Окрім цього, в умовах війни вкрай важливим є швидкісні режими (тобто мобільність руху у термінології НАТО) військової автомобільної техніки (ВАТ) бездоріжжям, максимальні значення якої знову

ж таки обмежуються досягненням граничних, допустимих для організму людини рівнів віброколивних навантажень.

В Україні фактично відсутня нормативна база, що регламентує вимоги – порогові значення допустимих вібронанвантажень для колісних транспортних засобів (КТЗ) як загального призначення, так і військової автотехніки (ВАТ). А власне рівень вібронанвантажень і є основою комфортності перевезень [1]. Прийняття з 2005 р. міжнародного стандарту ISO 2631-1[2] щодо загальної оцінки вібронанвантажень на організм людини та наявність державно-санітарних норм стосовно їхнього допустимого рівня щодо водія (як оператора на робочому місці впродовж 8 годин) [3] не впливає на систему сертифікації – допуску до експлуатації КТЗ загального призначення. Щодо ВАТ, то тут загалом відсутня нормативна база для приймальних випробувань та оцінки мобільності (що однозначно регламентовано у військових стандартах провідних країн НАТО [4-6]). Відповідно очевидна актуальність формування і практичної апробації методики експериментальної оцінки ефективності підвіски як основи мобільності руху автомобілів бездоріжжям.

Основна частина

У процесі робіт з розробки та виробництва легких ударних автомобілів переднього краю – військових баггі LTV 02 «Мамай» (ТУР KB 02) були проведені випробування цих машин за процедурою, максимально наближеною до відповідних нормативних баз країн НАТО, зокрема Великобританії [7]. Однак, окрім нормативних вимог до підвіски ВАТ високої та підвищеної прохідності – доступний перепад висот нерівностей/хід підвіски 200-150 мм та допустимий період затухання коливань 0,75-0,65 с, програмою випробувань передбачено оцінку вібронанвантаженості на екіпаж в умовах бездоріжжя та динаміки переміщення з умови досягнення граничного ходу стиску, так званою «пробою», критичного по дискомфорту. Якщо оцінка вібронанвантажень на екіпаж є традиційною під час досліджень ефективності підвіски, зокрема для автомобілів загального призначення, то оцінка динаміки ходу підвіски з фіксацією максимальних швидкостей руху, під час яких настає «пробій»,

обумовлена поточним переходом ВАТ НАТО на нове покоління машин переднього краю та його забезпечення, що обладнані незалежними підвісками зі значно збільшеними у 1,7-2,4 рази амплітудами ходу (Timoney/Oshkosh TAK – 4 й інші, зокрема закуплена ще у 2013 р. ліцензія і для КамАЗ [8]).

Нестабільність фізико-механічних характеристик, вмісту вологи та різнотипність бездоріжжя обумовили практику оцінки прохідності та мобільності руху ВАТ у нормативній базі (військових стандартах) на спеціальних ділянках з твердою опорною поверхнею та відповідними перешкодами руху. Експериментальну оцінку вібронанвантажень – плавності руху автомобілів, насамперед загального призначення, найбільш часто проводять на спеціальних випробувальних ділянках з твердими опорними поверхнями типу «бельгійська бруківка». Остання, однак, з огляду на ВАТ і бездоріжжя, має відносно невеликі перепади висот та їхню зміну залежно від ширини колії автомобіля [9]. Сьогодні в Україні відсутня атестована випробувальна ділянка типу «бельгійська бруківка». Тому в межах підготовки та апробації проекту військового стандарту (ВСТ) щодо вимог та оцінки відповідності тактико-технічних характеристик ВАТ, їхньої плавності руху, опрацьовано уже звичні для офіційних, зокрема українських, автодилерів випробувальну ділянку для підвіски кросоверів, **рис. 1**. Ділянка має послідовно розміщені та викладені з бруківки три пагорби, так звані «лежачі поліцейські» та 14 асиметрично викладених (для збурення і поперечних коливань) заокруглених перешкод з поступовим зростанням висоти вершин від 5 до 10 см, ідентичних для реального діапазону зміни ширини колії автотехніки всіх вагових категорій та цільового призначення.

Для порівняльної оцінки, окрім легкого ударного автомобіля «Мамай» (**рис. 1**), до випробувань було залучено і розповсюджений у силових структурах автомобіль підвищеної прохідності близького масо-габаритного класу УАЗ 3151 зі звичною для ВАТ попередніх поколінь залежною підвіскою (**рис. 2**). Окрім відповідно меншого у 1,75 рази ходу підвіски та менших на 200 мм ширини колії та біля 400 мм колісної бази (у порівнянні з «Мамай») УАЗ має більшу (на 600 кг) повну масу при

практично однаковому корисному навантаженні (700 та 750 кг). Відповідна різниця у споряджених масах обумовлена іншою конструкцією відкритого каркасного кузова «Мамай» зі склопластиковим облицюванням та

відсутністю дверей, а також і значно меншою (практично на 120 кг) непідресореною масою, через відсутність балок передньої та задньої осей із залежною ресорною підвіскою.



Рис. 1. Автомобіль «Мамай» під час проїзду ділянки з оцінки плавності руху



Рис. 2. Автомобіль УАЗ під час проїзду підвищеного пішохідного переходу (оцінка граничної швидкості для «пробою» підвіски)

Проведені випробування автомобілів, обладнаних комплексом необхідної вимірювальної апаратури [10], з поетапним збільшенням на 5 км/год швидкості руху, засвідчили значні відмінності у формуванні віброколивних навантажень, зокрема результуючих значень вертикальних прискорень на автомобілях з вищезгаданими типами підвісок. Як приклад, на **рис. 3** представлено порівняння прискорень на сидінні водія УАЗ та «Мамай» під час руху з постійною швидкістю 30 км/год. Значення прискорень у зоні задньої осі (пасажирів другого ряду сидінь) є більшими на 25-30 %. Спроба проїзду ділянки на УАЗ зі швидкістю 40 км/год закінчилась скиданням швидкості водієм через досягнення відчутного дискомфорту зі значним збільшенням віброприскорення – понад $1,7-1,9 м/с^2$, що спричинило болісні, неприємні відчуття в людини і визначається у дослідженнях як

гранично допустимі [11-13]. Аналогічна ситуація для автомобіля «Мамай» з незалежною довгоходовою підвіскою відбулася на швидкості 55 км/год. Загалом оцінка віброколивних навантажень – плавності руху, згідно з чинним українським законодавством [2], повинна базуватись на гранично допустимих значеннях – порогових рівнях коливань і вібрацій з розподілом по зоні частот збурення 1.0-63.0 Гц. До цього обов'язковим чинником формування порогових, гранично допустимих значень вібронантажень є середня тривалість поїздки екіпажу, визначення якої в умовах війни є доволі проблемною. Однак, під час планування руху ВАТ при орієнтовно відомому типі і стані бездоріжжя у практиці армій НАТО формуються максимально допустимі швидкості руху – мобільність ВАТ власне з умов дотримання допустимих, порогових значень віброколивних навантажень [4, 6].



Рис. 3. Типові віброколивні навантаження на робочому місці водія під час проїздки випробувальної ділянки зі швидкістю 30 км/год

Другим аспектом оцінки комфортності – плавності руху в умовах бездоріжжя є значна частка віброколивних поздовжніх і поперечних (до напрямку руху) навантажень, на відміну від автодоріг із твердим покриттям, де однозначно домінують вертикальні віброколювання. Нормативна база ДСТУ – ISO [2] чітко регламентує оцінку тільки за кількісно найбільшим, домінантним напрямком збурень, не беручи до уваги і не підсумовуючи інші, що цілком допустимо для автодоріг з твердим покриттям або залізниці. Як показали проведені випробування, такі критерії можуть занижити оцінку на бездоріжжі на 20-40 % (залежно від конкретних умов руху). На практиці досліджень, пов'язаних насамперед з ВАТ армій Великобританії та США, за основу оцінки взято не добровільний стандарт ISO [2], а стандарт Великобританії BS 6841 [14], де враховуються всі три типи збурень та проводиться результуюча оцінка із врахуванням значимості кожного з напрямів та частот збурень.

Поява у ВАТ нового покоління довгоходових незалежних підвісок зі збільшеною амплітудою ходу [8] дає змогу охопити понад 96-98 % площ бездоріжжя, як опорної поверхні, з перепадом висоти до 400 мм без вкрай неприйнятної «пробою» підвіски [11]. Це обумовлює необхідність і введення окремих тестів – випробувань ВАТ щодо відповідної експериментальної оцінки підвіски. Наведена вище оцінка плавності руху, зрештою як і інші [11-13 тощо], базується на найрозповсюдженіших перепадах висот нерівностей, що вкля-

даються у амплітуди ходів підвіски до 250-300 мм. Звичайні заміри амплітуди переміщення коліс на підвісці є недостатніми – реальні переміщення формуються як пружно-демпфуючими характеристиками підвіски, так і динамікою навантаження на колесо. Максимально дискомфортним для екіпажу є удар напрямних підвіски у верхній обмежувач ходу – так званий «пробій» підвіски, коли виникає жорсткий зв'язок підресорених мас (кузова) та опорної поверхні. Останній пов'язаний не лише з амплітудою ходу підвіски, але і з її пружно-демпфуючими властивостями та динамікою навантажень на колесо, що своєю чергою залежить від швидкості руху. Відповідно, у цьому плані практичний інтерес викликає визначення порогового, критичного значення швидкості руху, за якої виникає пробій під час наїзду на певну, визначену перешкоду. Висота останньої може бути і меншою теоретичного ходу стиску підвіски. На формування пробою впливає динаміка навантаження на підвіску, що формується і кінетичною енергією автомобіля – швидкістю руху. В ролі такої порогової перешкоди було опрацьовано декілька варіантів, зокрема переїзд через стандартний бордюр та підвищений пішохідний перехід – стандартний у ЄС та Україні засіб сповільнення руху, рис. 2 [15]. Найбільш інформативним, за результатами заїздів, визначено власне перехід у виконанні обмеження швидкості автомобілів до 30 км/год, що забезпечує знакозмінні навантаження на підвіску (в'їзд і з'їзд на підвищений пандус) та стабільність характеристик опор-

ної поверхні до і після перешкоди (на відміну від бордюра). На **рис. 4** представлено зафіксовані вертикальні прискорення для обох автомобілів за швидкості руху 30 км/год. Це дало змогу констатувати більш ніж 2,5-3-кратну різницю в амплітудах прискорень на робочому місці водія для різних типів підвіски. Про-

бій підвіски УАЗ був зафіксований уже під час збільшення швидкості до 35 км/год, а для «Мамай» – до 55 км/год, що можна визначати як критичні швидкості руху з умови ударів підвіски на бездоріжжі з перепадом висот нерівностей понад 10 см.



Рис. 4. Типові віброколивні навантаження на місці водія при переїзді підвищеного пішохідного переходу згідно з ДСТУ 4123:2020 за 30 км/год (у виконанні переходу для обмеження швидкості 30 км/год)

Практика використання порогових перешкод руху для оцінки ефективності підвіски розповсюджена як серед досліджень в Україні, так і за кордоном [9, 10, 16 тощо]. Проблема власне у виборі найбільш ефективної і стандартизованої перешкоди, зокрема і з умов відтворюваності оцінок різними випробувальними установами та коректності порівняльних оцінок різних конструкцій. Також звична оцінка ефективності підвісок на прямих випробувальних ділянках практично не відображає впливу підвіски на стійкість та керованість руху на поворотах – крени підвіски та узгодження кінематик кермової трапеції / тяг кермового приводу та напрямних елементів підвіски, розходження яких є максимальним власне під час «пробою» підвіски або відриву колеса від опорної поверхні [17].

Відповідно були проведені випробування в умовах реального бездоріжжя з оцінкою стійкості, керованості та віброколивних навантажень на горбистій місцевості, покритій травою (**рис. 5**), а також в умовах розмоклого болотистого бездоріжжя (**рис. 6**). Зрозуміло, що опорні поверхні, що деформуються під впливом навантажень від коліс автомобіля, дещо зменшують (на 10-25 %) віброколивні навантаження на кузов при співставних висо-

тах нерівностей, насамперед залежно від вмісту вологи у ґрунті (піщані поверхні не досліджувались). «Пробій» підвіски та відрив коліс від опорної поверхні є абсолютно реальними за умови перепадів висот нерівностей більших на 5-15 см у порівнянні з результатами випробувань на асфальтобетоні зі штучною перешкодою – підвищеним пішохідним переходом (**рис. 2**) при співставних швидкостях руху. Вібронавантаженість на поверхнях, що деформуються, теж дещо зменшується за умови висот нерівностей до 10-15 см, однак, на реальних місцевостях – бездоріжжі достатньо висока частка нерівностей з більшою висотою, що загалом дає змогу ставити рівень вібронавантажень у безпосередню залежність від швидкості руху (частоти збурень). З іншого боку, допустимий рівень дії на організм людини прямо залежить і від частоти збурень (тут швидкість) і тривалості (тут час руху) [2, 9-10, 14 тощо]. Зближення значень коефіцієнтів зчеплення та опору руху на бездоріжжі, особливо зволоженому та мокрому, суттєво зменшує ефект впливу на керованість руху відхилень від рівноважної точки суміщення кінематик переміщення важелів / напрямних підвіски та кермового приводу в порівнянні із



Рис. 5. Випробування на горбистій місцевості з умов оцінки амплітуди ходів підвіски та ймовірності пробую і зависання коліс з умов стійкості та керованості руху



Рис. 6. Випробування та оцінка вібронанвантажень, стійкості та керованості в умовах розмоклого бездоріжжя

сухим асфальтобетоном автодоріг I категорії, на яких і прийнято оцінювати стійкість і керованість руху [18]. Відповідно це обумовлює певні відмінності та введення послідовно-зворотнього процесу проектування і розрахунку підвіски з контролем відповідності заданим вимогам (у нашому випадку у програмних середовищах Matlab Simulink та

Solidworks), узагальнена структура чого представлена на **рис. 7**.

Прийняття в Україні з 2004 р. як національного стандарту норм – загальних вимог щодо оцінки впливу вібрацій (віброколивань) на людину ISO 2631-1 [2] дає змогу сформува-ти адекватні до міжнародної практики гранично допустимі значення – порогові рівні коливальності і вібрацій у зоні частот 1.0-63.0 Гц для

автомобілів загального призначення. Однак, щодо військової автотехніки переднього краю та його підтримки (автотранспорт тилового забезпечення можна віднести до загального

призначення) очевидно необхідне формування окремої нормативної бази з огляду на практику використання та поточний перехід ВАТ армій НАТО на нове покоління машин.

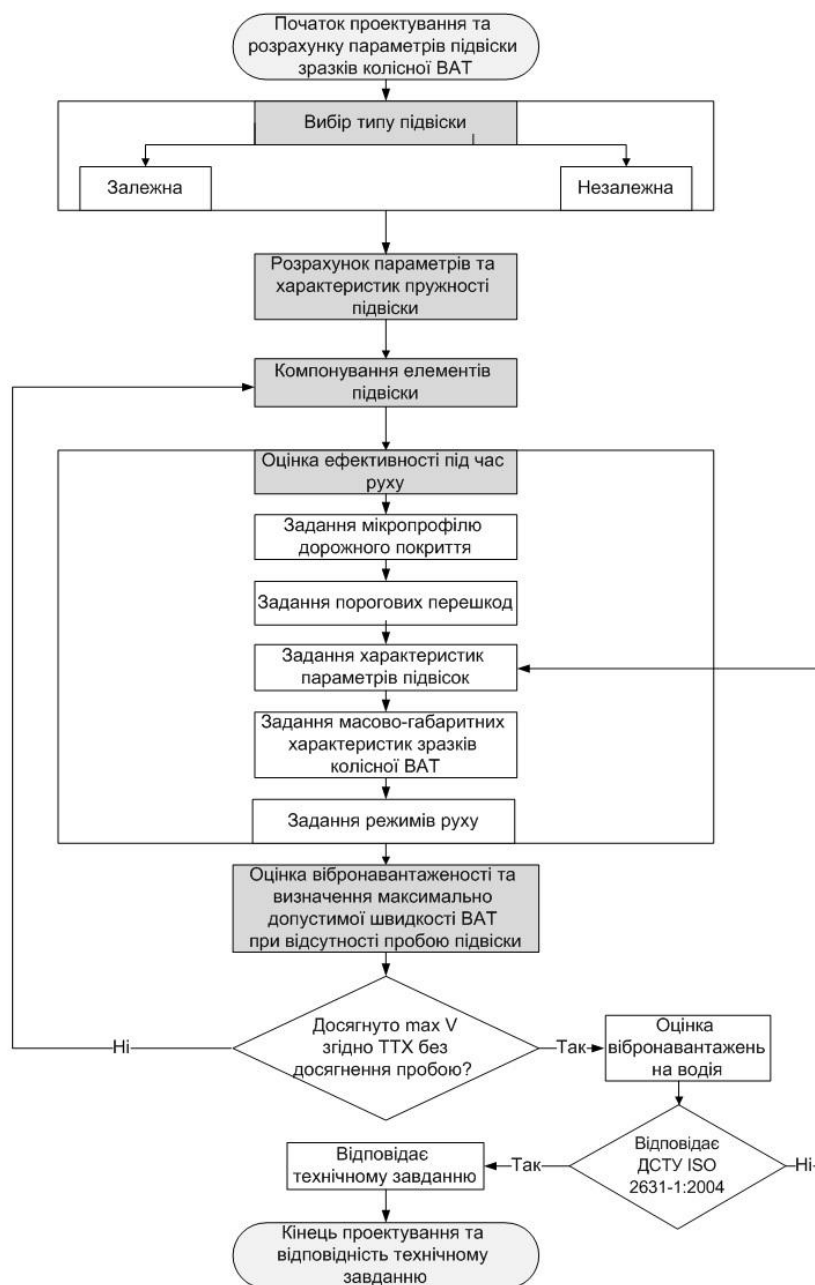


Рис. 7. Схема визначення параметрів підвіски зразків колісної ВАТ (тут: ТТХ – тактико-технічні характеристики, max V – задана максимальна швидкість)

Умови мобільності сучасних військових операцій та необхідність оновлення парку ВАТ ЗС України диктують нагальну потребу у формуванні відповідної нормативної бази, перспективного типу та структури автопарку, зокрема з врахуванням нещодавньої тенденції (при переході на нове, 4-е покоління

ВАТ армій НАТО) уже промислового впровадження довгоходових незалежних механічних підвісок зі збільшеною у 1,5 – 2,2 рази амплітудою повного ходу підвіски (до 400 – 460 мм) та поступового впровадження активних / напівактивних підвісок із автоматикою регулювання пружних / демпфуючих характерис-

тик відповідно до конкретних умов руху – бездоріжжя.

Висновки

Віброколивні навантаження на водія / екіпаж є реальним чинником (а в арміях НАТО і регламентовано нормативним актом – NATO Reference Mobility Model – NRMM), що обмежує максимально можливі швидкості руху (мобільність) військової автотехніки бездоріжжям під час планування операцій і перевезень. Ключову роль у цьому аспекті відіграють пружно-демпфуючі характеристики підвіски та амплітуда її ходів (ймовірність дискомфортних так званих «пробоїв» підвіски), значно менший вплив мають шини та тиск повітря у них. У колишніх ГОСТ в СРСР, на відміну від військових стандартів країн НАТО щодо ВАТ, не регламентовано вимоги щодо оцінки ефективності підвісок у цьому аспекті. Реалії сучасних воєн та актуальність гармонізації нормативної бази ЗС України з аналогами країн НАТО обумовлюють актуальність та практичну значимість такої роботи.

Експериментальна оцінка ефективності підвісок ВАТ (зрештою як і оцифровані вимоги до характеристик) у нормативних базах США, Великобританії та інших країн НАТО, проводиться на твердій опорній поверхні, зокрема зі спеціальними штучними перепадами висот, що обумовлено як нестабільністю фізико-механічних характеристик бездоріжжя (вміст вологи та твердість), так і значною різноманітністю типів і станів бездоріжжя. Останнє використовується тільки як демонстраційні заїзди, здебільшого під час порівняння різних моделей чи типів автомобілів.

Опрацьована методика експериментальної оцінки віброколивних навантажень – плавності руху на спеціальній випробувальній ділянці з твердою опорною поверхнею. У зв'язку з відсутністю в Україні акредитованої випробувальної ділянки типу «бельгійська бруківка» у ролі останньої апробовано розповсюджену в автодилерів кросоверів в Україні та ЄС (насамперед VW) випробувальний майданчик – бруківка з послідовно викладеними трьома

пороговими перешкодами, так званими «лежачими поліцейськими» та 14 асиметрично викладених (для збурення і поперечних коливань) заокруглених перешкод із поступовим зростанням висоти вершин від 5 до 10 см. Більші перепади висот нерівностей та однакової їхньої розподіл для всіх можливих значень колії автомобілів забезпечує наближенішу оцінку плавності руху / віброколивань до реалій бездоріжжя з врахуванням усіх трьох складових напрямків – вертикальних, поперечних і поздовжніх.

Враховуючи появу так званих довгоходових підвісок типу Timoney / Oshkosh TAK-4 на новому поколінні ВАТ НАТО запропоновано окрему експериментальну оцінку амплітуди ходів та пружно-демпфуючих характеристик підвіски шляхом визначення максимальних швидкостей руху, за яких відбувається «пробій підвіски» (оцінка енергомісткості підвіски і амплітуди ходів) шляхом проїзду по стандартизованій перешкоді – підвищеному пішохідному переході для обмеження швидкості руху до 30 км/год (ДСТУ 4123:3020). Проведені випробування автомобілів УАЗ 3151 з залежною ресорною підвіскою та ТУР KB02 «Мамай» із незалежною пружинною і збільшеною у 1,65 рази амплітудою ходів засвідчили практично пропорційну різницю у порогових швидкостях руху щодо появи ефекту пробою підвіски – 35 км/год і 55 км/год відповідно (випробування проводились з кроком наростання швидкості 5 км/год).

В умовах життєво необхідного оновлення автопарку ЗС України (зрештою й інших структур, що експлуатують автотехніку в умовах бездоріжжя) першочерговим є розроблення відповідного стандарту – ДСТУ В «Військова автомобільна техніка. Прохідність і мобільність руху. Технічні вимоги та оцінка відповідності». В останньому, за аналогією з практикою країн НАТО, необхідні наведені вище вимоги щодо підвіски, як визначального елемента комфортності та мобільності руху бездоріжжям.

References

1. Trollius M. (2002). Povedinka transmisiji kolisnykh pidvisok dlya lehkovykh avtomobiliv u chastotnomu diapazoni, shcho vidpovidaye komfortu. [Transmission

behavior of wheel suspensions for passenger cars in the frequency range corresponding to comfort.]. Stuttgart: Schaber-Verlag. 326. [in Germany].

2. State Standard of Ukraine DSTU ISO 2631-1:2004. Vibration and shock are mechanical. Assessment of the

impact of general vibration on a person. Part 1. General requirements. (ISO 2631-1:1997, IDT) [Valid from 2004-11-30]. Kyiv: *Derzhspozhivstandard of Ukraine*, 2004. 34. [in Ukrainian].

3. State sanitary standards of Ukraine. (2000). 3.3.6.039 – 99. Derzhavni sanitarni normy vyrobnychoyi zahal'noyi ta lokal'noyi vibratsiyi (31680). [3.3.6.039 – 99. State sanitary norms of industrial general and local vibration (31680)]. *Ministry of Health of Ukraine*, Kyiv, 35. [in Ukrainian].

4. Brigantic R. & Mahahn J. (2004), Oboronnyy transport: alhorytmy, modeli ta zastosuvannya dlya 21-ho stolittya" [Defence Transportation: Algorithms, Models and Applikation for the 21st Century]. 1st Edition. Elsevier Science, 392. ISBN 9780080913858. Retrieved from <https://www.elsevier.com/books/defense-transportation-algorithms-models-and-applications-for-the-21st-century/brigantic/978-0-08-044405-5> (Accessed 5.11.2024) [in USA].

5. Grubel M. G., Kraynyk L. V. & Andrienko A. M. (2020). Osnovy formuvannya natsional'noyi normatyvnoyi bazy shchodo prokhidnosti kolisnoyi viyskovoyi avtomobilnoyi tekhniky. [Basics of the formation of the national regulatory framework regarding the passability of wheeled military automobile equipment]. *Armament systems and military equipment*. Kharkiv: KhNUPS named after Iv. Kozheduba. 2, 62, 7-17. Retrieved from <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.62.01> [in Ukrainian].

6. Lessem A., Mason G. & Ahlvin R. (1996). Stokhastychni prohnozy mobilnosti transportnykh zasobiv z vykorystannyam etalonnnoyi modeli mobilnosti NATO. [Stochastic vehicle mobility forecasts using the NATO reference mobility model]. *Journal of Terramechanics*, 1, 273 - 280. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0022-4898\(97\)00010-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4898(97)00010-4) [in USA].

7. Defence Standard. (1992). DEF STAN 23-6. Posibnyk iz zahal'nykh tekhnichnykh vymoh do viys'kovoyi tekhniky ta rushnykovoyi tekhniky. [DEF STAN 23-6. Guide to the Common Technical Requirements for Military Vehicles and Towel Equipment]. MODUK. Retrieved from <https://www.standards.globalspec.com/std/244958/defstan-23-6>. [in England].

8. Manzyak M.O., Kraynyk L.V. & Grubel M.G. (2021). Tendentsiyi rozvytku konstruksiy pidvisky viyskovykh avtomobiliv. [Trends in the development of military vehicle suspension designs]. *Weapon systems and military equipment*, Kharkiv, KhNUPS, 65, 27 – 34. Retrieved from <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.04> [in Ukrainian].

9. Manzyak, M. O., Homa, V. V., Grubel, M. G., Kraynyk, L. V. and Salo, Ya. (2023). Otsinka efektyvnosti pidvisky povnoprividnoho avtomobilya dlya bezdorizhzhya. [Evaluation of the effectiveness of the suspension of a four-wheel drive car for off-road use], *Magazine "Bulletin of the Lviv National University of Nature Management. Agricultural engineering research"*. 27, 295–307. Retrieved from [https://doi.org/10.31734/ agroengineering2023.27.096](https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.096) [in Ukrainian].

10. Kraynyk L. V., Bur'yan M. V., Lanets O. V. and Kokhan V. F. (2022). Plavnist' rukhu yak osnova komfortnosti avtomobiliv: formuvannya normatyvnoyi bazy "Vehicle road comfort". [Smoothness of movement as

the basis of car comfort: formation of the "Vehicle road comfort" regulatory framework.], *Scientific and industrial magazine "Automobile of Ukraine"*, 27, 96-100. Retrieved from <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-3-271-2-7>. [in Ukrainian].

11. Dushchenko V.V. (2018). "Systemy pidresoryuvannya viyskovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn: rozrakhunok ta syntez" [Suspension systems of military tracked and wheeled vehicles: education manual]. V.V.Dushchenko; end. O. I. Shpilova; National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Kharkiv, FOP A. M. Panov, 336. ISBN: 978-617-7771-07-3 [in Ukrainian].

12. Kalchenko B. I., Kozhushko A. P. and Kiselyov A. R. (2017). Otsinka plavnosti rukhu samokhidnoyi mashyny pry vplyvi nerivnostey poverkhni. [Evaluation of the smoothness of the movement of a self-propelled machine under the influence of surface irregularities.]. *Bulletin of NTU "KhPI"*, 30, 1252, 56-63. [in Ukrainian].

13. Kaidalov R. O., Bashtovy V. M., Larin O. O. and Vodka O. O. (2015). Eksperymental'ne otsynuyannya plavnosti khodu spetsializovanoho transportnoho zasobu z neliniynym pidresoryuvannyam pry rusi po bezdorizhzhzyu. [Experimental evaluation of the smoothness of a specialized vehicle with a non-linear suspension when driving off-road.]. *Collection of scientific papers of the National Academy of NSU*. 2, 26, 27-31. [in Ukrainian].

14. BS 6841. (1987). Guide to measurement and evaluation of human exposure to wheel body mechanical vibration and supeated shok. *The British Standardinstitution*. London. 30. [in England].

15. State Standard of Ukraine. (2020). 4123:2020 Bezpeka dorozhn'oho rukhu. Zasoby zaspokoyennya pukhu. Zahal'ni tekhnichni vymohy. [4123:2020 Road traffic safety. Means of calming fluff. General technical requirements.]. [Effective from 2020-11-01]. Kyiv. State enterprise "Ukrainian research and training center for problems of standardization, certification and quality", 21. [in Ukrainian].

16. Kalinovskyy A.Ya. and others. (2016). Eksperymental'ni doslidzhennya vertykal'nykh kolyvan' spetsializovanoho transportnoho zasobu z neliniynym pidresoryuvannyam pry pereyizdi odynychnoyi nerivnosti. [Experimental studies of vertical oscillations of a specialized vehicle with nonlinear suspension when traveling over a single bump.]. *Bulletin of NTU "KhPI", topic. issue "Dynamics and strength of machines"*, 58, 1100, 31-39. [in Ukrainian].

17. Kraynyk T. L., Hudz G. S. (2008). Strukturnyy syntez ta kinematyka sumishchennya kermovoho pryvodu i nezalezhnnoyi pidvisky avtomobilya. [Structural synthesis and kinematics of the combination of the steering drive and the independent suspension of the car]. *Herald of the Khnadu*. Kharkiv, 41, 62-64 [in Ukrainian].

18. Kraynyk T. L., Hudz G. S. (2016). Optyimizatsiya sumishchennya kinematyky kermovoho pryvodu ta peredn'oyi pidvisky avtomobilya metodamy komp'yuternoho 3D – syntezu. [Optimization of the combination of kinematics of the steering drive and the front suspension of the car by the methods of computer 3D - synthesis.]. *Modern technologies in mechanical engineering and transport*. LNTU Lutsk, 2, 6, 101-104. [in Ukrainian].