

МОБІЛЬНІСТЬ ТА КЕРОВАНІСТЬ РУХУ АВТОМОБІЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯМ: ФОРМУВАННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ

*Тарас Крайник, аспірант, Степан Ковалишин, к. т. н.
Львівський національний університет природокористування
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл.
e-mail: taras.kraynyk@gmail.com; stkovalyshyn@gmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.080>

Крайник Т., Ковалишин С. Мобільність та керованість руху автомобіля бездоріжжям: формування нормативної бази

Проаналізовано методики та нормативні бази передових країн щодо вимог та оцінки мобільності – максимальних швидкостей руху та керованості – стійкості руху автомобілів бездоріжжям і ґрунтовими дорогами, насамперед щодо військової автотехніки (ВАТ), автомобілі для аграрної та лісгосподарської сфер. Зазначено, що це здебільшого відповідні модифікації (самоскиди, лісовози тощо) повнопривідної ВАТ другої лінії – забезпечення переднього краю. Окремою вимогою в цій сфері є дотримання агроекологічних вимог щодо допустимих тисків у контакті шин з ґрунтою. Змінюючи висоту нерівностей бездоріжжя формують особливі вимоги щодо кінематики підвіски і кермового приводу та, відповідно, щодо керованості та стійкості руху автомобілів. Збільшені амплітуди ходів підвіски для бездоріжжя зумовлюють і формування відповідної кінематики кермового приводу з умови максимального суміщення. Швидкісні режими руху лімітуються допустимим віброколивними навантаженнями на водія, що суттєво відрізняються від умов руху автодорогами з твердим покриттям.

Опрацьовано методику експериментальної оцінки мобільності руху автомобілів бездоріжжям та пропозиції щодо формування відповідної вітчизняної нормативної бази (з урахуванням Правил ЄЕК ООН щодо сертифікації конструкцій для допуску до експлуатації й на автодорогах з твердим покриттям).

Ключові слова: автомобілі, бездоріжжя, кінематика підвіски та кермового приводу, мобільність, керованість, нормативні вимоги.

Krainyk T., Kovalyshyn S. Mobility and controllability of off-road vehicle movement: formation of a regulatory framework

A review and analysis of the methods and regulatory frameworks used by advanced countries concerning the requirements and evaluation of vehicle mobility – specifically maximum movement speeds and controllability – has been conducted. This assessment primarily focuses on military vehicles (MVs), while vehicles used in agriculture and forestry, such as dump trucks and timber trucks, are often modified forms of these all-wheel-drive MVs. One critical requirement in this field is compliance with agroecological standards, particularly regarding the permissible pressure exerted by tires on the soil, depending on agroecological conditions. Variations in the heights of off-road obstacles create specific demands for the suspension systems and steering kinematics, thereby affecting the controllability and stability of the vehicles. The greater amplitudes of suspension movement encountered off-road require the development of corresponding kinematics in the steering system, particularly under maximum alignment conditions. High-speed driving on unpaved surfaces is constrained by acceptable vibration loads on the driver, which differ significantly from those experienced on paved roads.

This study also developed a method for experimentally evaluating the mobility of off-road vehicles, along with proposals for establishing a national regulatory framework that aligns with the UN/ECE rules for the certification of vehicles intended for operation on paved roads.

Keywords: cars, off-road, suspension and steering kinematics, mobility, controllability, regulatory requirements.

Постановка проблеми. Проблема кардинального оновлення парку ВАТ у ЗС України та існуючого, практично амортизованого автопарку внутрішньогосподарських перевезень (з поля в комору) в аграрній сфері та транспортування деревини від місць заготівлі, що базувались досі на автотехніці заводів на території рф, є очевидною. З іншого боку, очевидна й необхідність переходу на якісно вищий етап автомобілів таких сфер використання як щодо гармонізації ВАТ з нормативними базами країн

НАТО, так і щодо екології та безпечності конструкцій в аграрній та лісгосподарській галузях (зокрема умов відповідності прийнятим в Україні вимогам сертифікації – Правил ЄЕК ООН щодо допуску до експлуатації на автодорогах загального призначення). У країнах НАТО є національні стандарти щодо вимог та оцінки відповідності ВАТ, які охоплюють не тільки прохідність, а й мобільність руху бездоріжжям (на відміну від відповідних

ГОСТУ ССРС та сучасних ГОСТ РВ, де охоплено тільки прохідність) [1-4]. Очевидно, що вимоги щодо вантажівок для аграрної та лісогосподарської сфер є найближчими до сучасної ВАТ другої лінії – забезпечення переднього краю, однак з іншими типами забудови шасі (самоскиди, лісовози тощо).

Постановка завдання. Об'єктивна необхідність оновлення вітчизняного парку автомобілів для бездоріжжя обумовлює потребу в опрацюванні відповідної нормативної бази щодо необхідних технічних характеристик та оцінки відповідності, насамперед щодо прохідності та мобільності руху, що істотно формуються підвіскою та кермовим управлінням.

Виклад основного матеріалу. Мета дослідження – опрацювання базових засад формування вітчизняної нормативної бази щодо вимог та оцінки мобільності руху автомобілів для бездоріжжя.

Оцінку керованості та взаємопов'язаної стійкості руху автомобілів загального призначення на автодорогах з твердим покриттям можна проводити на базі добровільних 27 стандартів ISO, нещодавно прийнятих і в Україні як ДСТУ наказами Мінекономрозвитку України № 1430 та № 1431 від 13.12.2014 р. [5]. Останні, однак, не входять до переліку обов'язкових при проведенні сертифікації – схвалення типу нових моделей автомобілів, як умови допуску до руху на автодорогах загального призначення, зрештою як і чинний з 1996 р. ДСТУ 3310-96, як аналог обов'язкового ГОСТУ СРСР щодо оцінки стійкості руху [6; 7]. (У рф вдосконалена версія

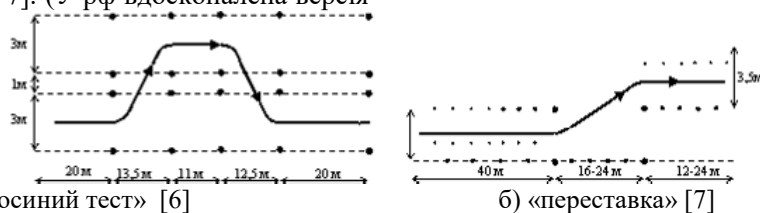


Рис. 1. Схеми випробувальних тестів оцінки критичних швидкостей маневру автомобілів з умов стійкості/керованості руху

Fig. 1. Schemes of tests for evaluating the critical speeds of maneuvering cars from the conditions of stability of traffic controllability

Більша складність, активне використання у країнах ЄС та наближеність до реалій руху власне маневру «посиний тест» (див. рис. 1а) зумовлює доцільність власне його використання, зокрема і з умов оцінки максимально можливих швидкостей об'їзду перешкод, мобільності в умовах бездоріжжя.

Остання, однак, в умовах бездоріжжя при наявних високих питомих потужностях обмежується насамперед гранично допустимими віброколивними навантаженнями на водія/екіпаж, що

ГОСТ є обов'язковою при сертифікації [8]). Обов'язковим випробуванням у цій сфері руху фактично залишаються тільки вимоги Правил ЄЕК ООН № 13 щодо збереження курсової стійкості руху при екстремому гальмуванні і відпущеному кермі. Однак щодо керованості – зміни напрямку руху, що особливо актуально для ВАТ, обов'язкові вимоги як умови допуску до експлуатації в Україні фактично відсутні. Водночас для ВАТ у країнах НАТО чинна окрема нормативна база [1; 2; 5], що передбачає низку окремих додаткових вимог, насамперед щодо умов руху бездоріжжям.

Нестабільність фізико-механічних характеристик ґрунтових та піщаних ОП зумовлює проведення значної частини приймальних випробувань автомобілів для бездоріжжя власне на твердих, здебільшого бетонних площадках, із фактично фіксованими значеннями коефіцієнтів зчеплення та опору коченню шин. Очевидна певна пропорційність погіршення отриманих показників, пропорційна зміні зчеплення та опору кочення на реальних ґрунтових та піщаних ОП.

У цьому плані випробувальні тести для оцінки максимально можливих, критичних швидкостей здійснення маневру з умов збереження стійкості руху, як нормативна база [6-8], становлять практичний інтерес – як з умов пропорційного зниження критичної швидкості відповідно до зменшення коефіцієнта зчеплення на конкретному бездоріжжі, так і умов оцінки коректності кінематики суміщення підвіски та кермового приводу в критичних умовах зміни смуги руху (рис. 1).

зумовило появу і зростаюче розповсюдження в усіх класах ВАТ, включно надважкі автомобілі так званих довгоходових підвісок із збільшеною у 1,5-2 рази амплітудою ходів (Timoney, Oshkosh TAK-4 тощо [9]). Як приклад (тут і об'єкт випробувань), на рис. 2 представлено підвіску такого типу в легкому автомобілі для бездоріжжя – 5-місному баггі. Відсутність класичної рами при забудові просторової каркасної конструкції дозволила видовжені А-подібні важелі підвіски закріпити до здвоєних поздо-

вжніх лонжеронів каркаса передка та забезпечити максимальну амплітуду ходів підвіски в межах заданої колії. Власне оцінка ходів підвіски, окрім звичної оцінки вібронавантажень – плавності руху бездоріжжям, що проводиться на спеціальній випробувальній ділянці – «бельгійській бруківці», у світлі поточного переходу на вищезгадані довгоходові конструкції стає новим фрагментом випробувань та нормативної бази для ВАТ [10].



Рис. 2. Передня довгоходова підвіска на поперечних А-подібних важелях (легкий ударний автомобіль – баггі ТУР КВ 02 «Мамай»)

Fig. 2. Front long-travel suspension on traverse A-similar levers (light strike vehicle- military buggy TUR KB 02 “Mamai”)

Як показує аналіз зарубіжних [11; 12] та вітчизняних [13] досліджень у цій сфері, методика експериментальної оцінки базується на переїзді регламентованої одиничної перешкоди (типу підвищеного пішохідного переходу або бордюрної плити). Зрештою ефективність такого підходу з точки зору оцінки швидкості, на якій відбувається «пробій» підвіски з різни-

ми амплітудами ходів (на прикладі військового джипа HMMWV моделей М998 з амплітудою ходів підвіски 216 мм та вдосконаленого М1114 з амплітудою 355 мм) підтверджена і в дослідженні [14].

Відсутність в Україні спеціальної випробувальної ділянки типу «бельгійська бруківка» створює відповідну проблему щодо оцінки плавності руху в умовах, адекватних до прийнятих у Європі, але ця практика поширена щодо автомобілів загального призначення. Щодо автомобілів для бездоріжжя, насамперед ВАТ, у нормативній базі провідних країн НАТО відсутня вимога щодо оцінки підвіски на такій ОП – але, на прикладі [1], наявні вимоги щодо ходів підвіски (доступний перепад висот ОП) та демпфуючих характеристик (табл. 1). Експериментальна оцінка відповідності цим вимогам реальна при переїзді через відповідні порогові перешкоди (для ВАТ різних класів прохідності – сфер використання – від переднього краю до тилового транспорту на автодорогах), або ж на спеціалізованих стендах. (В ГОСТах СССР та РФ [3; 4] вимоги до підвіски відсутні). Водночас віброколивні навантаження на водія/екіпаж, що і є оцінкою ефективності підвіски при відомому мікропрофілі ОП, є регламентуючим чинником досягнення порогових, граничних значень яких обмежує максимально допустимі швидкості руху – мобільність ВАТ конкретним бездоріжжям згідно відповідної нормативної бази НАТО [15].

Таблиця 1. Нормативні вимоги щодо прохідності та підвіски легкої ВАТ (вантажністю до 4 т) різних класів [1]

Table 1. Regulatory requirements for cross-country ability and suspension of light military vehicles (weighing up to 4 tons) of different classes

| Прохідність/ показники | Висока | Підвищена | Середня | Покращена а низька | Низька |
|--|--------|-----------|---------|-----------------------|--------|
| Кліренс, мм | 400 | 260 | 180 | 150 | 115 |
| ММР, кПа | <280 | 280-350 | 350-550 | 550-700 | > 700 |
| Підвіска: період затух. коливань, с | 0,75 | 0,65 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Затухання, крит. % | 30-45 | 25-45 | 25-50 | 20-50 | 20-50 |
| Доступний перепад висот ОП, мм | 200 | 150 | 125 | 125 | 100 |

де ММР – максимально допустимий тиск у контактній шини з опорною поверхнею при завантаженому автомобілі.

Експериментальна оцінка вібронавантажень базується на апробованому вимірювальному комплексі [16] (рис.3), з використанням датчиків вібрації та програмного забезпечення Arduino [17], що дозволяють оцінити в рамках вимог нормативні акти [18; 19]. Порогові, гранично допустимі значення віброприскорень (частота 0-20 Гц технічно – коливання, більше ніж 20 Гц – для автомобілів до 84 Гц – вібрації) формуються для автомобілів загального призна-

чення звично для рівня В – продуктивність діяльності людини не знижується з-за втоми, спричиненої вібрацією, впродовж певного періоду часу дії/руху [18]. Очевидно, що граничні значення допустимих віброприскорень залежать від тривалості дії (часу руху певним бездоріжжям чи дорогою), так і від частоти збурень /швидкості руху. Рух упродовж однієї години – це діапазон віброприскорень $0,8-6 \text{ м/с}^2$ (менші значення у зоні частот 4-8 Гц), впродовж чо-

тирьох годин – це вже $0,35-1,8 \text{ м/с}^2$ [10], однак згідно з [18] для оцінки вібронавантажень приймаються значення, найбільші з трьох ординат, для автомобілів загального призначення на асфальтобетоні – це звично вертикальні, поздовжні та поперечні коливання з оцінки виключаються. Очевидно, що в умовах бездоріжжя вагомість поперечних та поздовжніх коливань значно зростає. І для оцінки плавності руху ВАТ у Великобританії, США та інших країн [11; 12] частіше використовується британський стандарт оцінки вібронавантажень [20], в якому сума-

рна оцінка вібронавантажень враховує всі три напрямки дії (з урахуванням вагомості частот коливань/вібрацій, що дещо відрізняється від ISO [18]). Експериментальну оцінку плавності руху – вібронавантажень на екіпаж, зокрема повнопривідних багатоцільових автомобілів, що використовуються і у військовій сфері, Daimler AG поводить на випробувальній ділянці типу «бельгійська бруківка» (рис. 3) [21], що є типовою для автовиробників у ЄС [22], мікропрофіль якої є оцифрованим та використовується і при проєктуванні та модернізації підвісок.

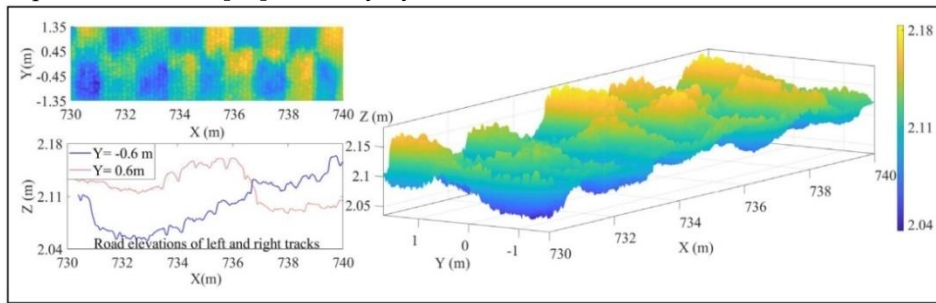


Рис. 3. Характеристика тестової ділянки «бельгійська бруківка» концерну Daimler AG [21]
Fig. 3. Characteristics of the test site “Belgian cobblestones” of the Daimler concern [21]

Встановлено, що нормативна оцінка ефективності підвісок автомобілів у практиці ЄС проводиться на твердих опорних поверхнях із вбудованими елементами штучних перешкод різних висот [10-12; 14], зокрема й вищезгадана «бельгійська бруківка». У цьому плані більш звична для офіційних вітчизняних та європейських автодилерів випробувальна ділянка для підвіски кросоверів (рис. 4). Ділянка має послідовно розміщені, викладені з бруківки три пороги, зокрема «лежачі поліцейські», та 14 асиметрично викладених (для збурення і поперечних коливань) заокруглених перешкод з поступовим зростанням висоти вершин від 5 до 10 см (рис. 4).



Рис. 4. Автомобілі підвищеної прохідності ТУР KB 022 «Мамай» та УАЗ 3151 під час випробувань – оцінки плавності руху на спеціальній тестовій ділянці

Fig. 4. All-terrain vehicles TUR KB 022 “Mamai” and UAZ 3151 during smoothness evaluation tests on a special test area

Власне з умов оцінки ефективності підвіски автомобілів високої та підвищеної прохідності тестова ділянка такого типу ближча до умов твердого бездоріжжя, максимальна швидкість руху на яких – мобільність фактично обмежується досягненням неприйнятних для орга-

нізму людини віброколивних навантажень. Окрім цього, така ділянка, на відміну від «бельгійської бруківки», забезпечує однакові збурення на підвіску незалежно від ширини колії автомобіля, а отже, коректність порівняльних оцінок підвісок різних автомобілів, а також більші перепади висот профілю опорної поверхні, що є характерним власне для бездоріжжя. Нещодавня поява у ВАТ довгоходових підвісок типу Timoney / Oshkosh TAK 4 [9-11] (хоча власне довгоходові незалежні підвіски із збільшеною амплітудою ходу понад 400 мм відомі віддавна на вантажівках Tatra, однак з рамою так зв. хребтового типу) обумовлює необхідність оцінки для автомобілів – позашляховиків критичної швидкості руху, при якій відбувається «пробій» підвіски та критичні, недопустимі для організму людини ударні віброколивні навантаження. Явище «пробою» підвіски формується не тільки амплітудою ходів, а й пружно-демпфуючими характеристиками підвіски, тому проста процедура заміру ходів підвіски недостатня. З проведеного аналізу можливих варіантів для оцінки амплітуди ходів підвіски – оцінки швидкості руху, при якій настає так званий пробій, було використано і вже стандартну і в Україні (згідно з ДСТУ 4123:2020) перешкоду – засіб заспокоєння руху – підвищений пішохідний перехід висотою Н - 10см та шириною пандуса проїзду L2 в діапазоні 1,25-1,5 м, (як засіб обмеження швидкості до 30 км/год згідно з цим ДСТУ) (рис. 5, 6).

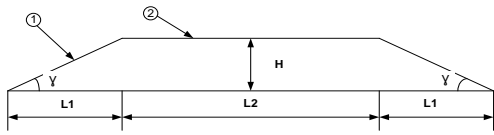


Рис. 5. Поперечний переріз підвищеного пішохідного переходу згідно ДСТУ 4123:2020

Fig. 5. Cross-section of an elevated pedestrian crossing according to the standard DSTU 4123:2020



Рис. 6. Автомобілі ТУР КВ 022 Мамай та УАЗ 3151 під час проїзду підвищеного пішохідного переходу

Fig. 6. Cars TUR KW 022 Мамай and UAS 3151 while passing through an elevated pedestrian crossing

На рис. 7 представлено результати випробувань зазначених автомобілів для бездоріжжя (див. рис. 6) з однаковою швидкістю руху 30 км/год під час проїзду переходу (впродовж 4,4 – 5 с часу запису по осі абсцис) з фіксацією вертикальних прискорень на робочому місці водія (по осі ординат в m/s^2). Очевидні відмінності вібронавантажень при звичній залежній ресорній підвісці (УАЗ), яка понині домінує в парку ВАТ, та незалежній, із збільшеною у 1,6-1,7 рази амплітудою ходів (Мамай). Порогове, максимальне значення швидкості руху, за якої відбувся «пробій» підвіски, становило відповідно 35 та 50 км/год, що загалом є пропорційним зі співвідношенням амплітуд ходів підвісок. Оцінка ефективності пружно-демпфуючих характеристик підвіски базується на формуванні амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) шляхом отриманих експериментально результатів, (рис.7), у функції частот збурень / швидкості руху.



Рис. 7. Запис вертикальних прискорень сидіння водія (m/s^2) при проїзді пішохідного переходу із швидкістю 30 км/год (4-5 секунди запису)

Fig. 7. Recording of vertical accelerations of the driver's seat (m/s^2) when passing a pedestrian crossing at a speed of 30 km/h (4-5 sec of recording)

Для автотехніки в аграрному секторі, особливо якщо навантаження на вісь перевищує 4-5 т, важлива також оцінка ущільнення ґрунту в контактi з колесами, що регламентується нормативною базою [23-25] та є особливо актуальною для України в період весняно-польових робіт та пізньої осені [26]. Але допустимі норми питомого тиску в контактi шини з ґрунтом є диференційованими залежно від твердості ґрунту, і

вітчизняна нормативна база у плані оцінки твердості ґрунту є громіздкою та явно застарілою [27] порівняно із сучасними приладами – пенетрометрами [28; 29], що вже знаходять застосування й у вітчизняних дослідженнях [30] та загальноприйнятi у країнах ЄС [31]. У цьому плані очевидна актуальність прийняття в Україні як ДСТУ міжнародного стандарту ISO 22476 [32].

Висновки. Необхідне опрацювання вітчизняної нормативної бази щодо прохідності та мобільності руху колісної техніки бездоріжжям, насамперед ВАТ, де діють національні стандарти країн-учасниць НАТО під рекомендаційний стандарт НАТО щодо планування переміщень ВАТ. Для автотехніки в аграрному секторі необхідно додатково враховувати і вимоги агроєкології щодо допустимого ущільнення ґрунту, але водночас і спрощені вимоги щодо прохідності на рівні підвищеної або середньої (табл. 1). Формування вітчизняної нормативної бази щодо вимог і оцінки прохідності та мобільності руху автотехніки для бездоріжжя, насамперед ВАТ, з аналізу відповідних стандартів провідних промислових країн, має вимоги та оцінку відповідності щодо характеристик підвіски. Окрім звичної оцінки ефективності пружних та демпфуючих характеристик, як визначального чинника забезпечення необхідної мобільності руху бездоріжжям з умов віброколивних навантажень, стійкості та керованості руху, актуальним на сьогодні є оцінка амплітуди ходів підвіски, що формує ймовірність «пробою» підвіски та мобільність руху бездоріжжям з умов допустимих вібронавантажень на організм екіпажу.

Бібліографічний список

1. DEF STAN 23-6. Guide to the Common Technical Requirements for Military Logistic Vehicles and Towed Equipment. Ed. 3. 2000. 68 p.
2. Standard for Ground Vehicle Mobility. US Army Corps of Eng. ERDC/GSL TR-05-2. 2005. 116 p.
3. ГОСТ В СССР 26442-85. Автомобили многоцелевого назначения. Параметры проходимости и методы их определения. Москва, 1983. 9 с.
4. ГОСТ РВ 52048-2003. Автомобили многоцелевого назначения. Параметры проходимости и методы их определения. Москва, 2003. 11 с.
5. Крайник Т. Оновлення нормативної бази оцінки стійкості та керованості руху автомобілів. Друга всеукраїнська науково-практична конференція «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні»: тези доповідей. Львів: Вид. Львівської політехніки, 2016. 61 с.

6. ДСТУ – ISO 3888-1:2014. Автомобілі легкові пасажирські. Випробувальний шлях для рвучкого змінення смуги руху. Частина 1. Подвійна зміна смуги руху. Київ: Держспоживстандарт, 2014. 16 с.
7. ДСТУ – 3310-96. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуваннями. Київ: Держстандарт, 1996. 10 с.
8. ГОСТ Р 52302-2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы и испытания. Москва: ИПК Изд. Стандартов, 2005. 31 с.
9. Lanets O., Sapuzhak A., Крауник Т., Kovalyshyn S. Development of structures and basis of structural synthesis of independent suspensions of off-road vehicles. *ТЕКА*. 2024. Vol. 24, No 1. Rzeszow-Lviv, 2024.
10. Крайник Л. В., Бурян М. Г., 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.
11. Els P. S. The ride comfort vs. handling compromise for off-road vehicles. *Diss. Dr.-Phil. Mech. Eng.*, University of Pretoria, July 2006. 255 p.
12. Wielenberg A. Entwurf mechatronischer Fahrzeugfederungen am Beispiel eines gelaendegaengigen Nutzfahrzeugs. *Diss. Dr.-Ing.*, Univers. Padeborn. BRD, 2014. 172 s.
13. Кайдалов Р. О., Башговой В. М., Ларін О. О., Водка О. О., Баркалов В. Г. Математичне моделювання коливань спеціалізованого транспортного засобу з дворівневою системою піддресорювання при переїзді одиначної дорожньої нерівності. *Системи озброєння і військової техніки*. 2016. № 3 (47). ХНУПС. Харків. 2016. С. 14-21.
14. Манзяк М., Хома В., Грубель М., Крайник Л., Сало Я. Оцінка ефективності підвіски повнопривідного автомобіля для бездоріжжя. *Вісник ЛНУП. Серія «Агроінженерні дослідження»*. 2023. № 27. С. 96-100.
15. Next-Generation NATO Reference Mobility Model (NG-NRMM) Development. STOTR-AVT-248. *NATO Science and Technology Organisation*. Web site. URL: <http://surl.li/hmflm>.
16. Бурян М.В. Плавність руху автобусів у взаємозв'язку з характеристиками підвіски та сидіння : *дис. канд. техн. наук*. Львів, 2020. 151с.
17. Механічний вплив. URL: <https://arduino.ua/catl47-mechanicheskie-vozdejstviya>.
18. ДСТУ ISO 2631-1:2004. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Київ: Держстандарт України, 2004. 36 с.
19. ДСН 3.3.6.029 – 99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Київ: МОЗ України, 2000. 39 с.
20. BS 6841 Guide to measurement and evaluation of human exposure to wheel body mechanical vibration and repeated shock. *The British Standard Institution*. London, 1978. 18 p.
21. Belgian block road sample of Daimler durability test track. URL: <http://maps.google.com/maps?&q=48.7860,9>.
22. Gimmler, H., Ammon, D., Rauh, J. Road Profiles: Mobile Measurement, Data Processing for Efficient Simulation and Assessment of Road Properties, *VDI-Report. 2005. No 1912*. Düsseldorf (Germany). Pp. 335–352.
23. 4521:2006. Техніка сільського сподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт. Київ: Держспоживстандарт, 2006. 8с.
24. ДСТУ 4977:2008. Техніка сільського-подарська мобільна. Методи визначення максимального напруження в ґрунті під дією ходових систем. Київ: Держспоживстандарт, 2008. 10 с.
25. ДСТУ 4428:2005. Техніка сільського-подарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт. Київ: Держспоживстандарт, 2005. 10 с.
26. Ребров О. Ю. Розподіл допустимого тиску на ґрунт ходових систем колісних тракторів за територією України. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Математичне моделювання в техніці та технологіях»*. 2018. № 27. Харків, 2018. С. 110-116.
27. ДСТУ 5096:2008. Якість ґрунту. Визначення твердості ґрунту твердоміром Рев'якіна. Київ: Держспоживстандарт, 2008. 8 с.
28. Wong Y. J. Terramechanics and off road vehicle engineering. Second Ed. Butterworth. London, 2010. 482 p.
29. Грубель М. Г., Крайник Л. В. Прохідність військових автомобілів: монографія. Київ: Професіонал, 2023. 182 с.
30. Іванишин В. В., Рудь А. В., Мошенко І. О. Визначення переущільнення ґрунтів у господарствах західної частини лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 27. Подільський ДАТУ. С. 146-158.
31. Richter R., Hoffmann B. Probleme des Einsatzes von Fahrzeugen auf landwirtschaftlich genutzten Boden. *Agrartechnik*. 1981. 31 (9). S. 419-421.
32. ISO 22476-1:2012. Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test.