

А.Л. Башинський, к.т.н., ст. викладач

С.А. Осташевський, д.т.н., доц.

П.М. Малахов, слухач

Національна академія Державної прикордонної служби України

## Результати експериментального дослідження впливу переміщення підресореної маси на поперечну стійкість автомобіля

*Досвід застосування бойових колісних машин вимагає розробки дієвих заходів, щодо контролю та оцінки показників поперечної стійкості руху автомобілів з високо розташованим центром мас, оскільки життєво необхідний швидкий рух у складних дорожніх умовах, таких транспортних засобів, пов'язаний із ризиком їх перекидання у процесі подолання штучних чи природних перешкод. Сучасні системи контролю стійкості руху оцінюють відповідність кута повороту керованих коліс боковим прискоренням, що виникають під час руху по кривій, але не здійснюють оцінки наявного запасу стійкості прямолінійного руху машини до моменту початку здійснення маневру. Необхідність розробки подібних методів підтверджують експерти усіх відомих компаній, які здійснюють виробництво та оцінку безпечності транспортних засобів. Розроблено модель, яка дозволяє оцінити такий запас, та проведено експериментальне дослідження з підтвердження адекватності моделі та методу визначення критичних значень параметрів мікропрофілю місцевості реальному процесу подолання транспортним засобом одиночної перешкоди.*

**Ключові слова:** поперечна стійкість; експериментальне дослідження; автомобіль; моделювання; адекватність; математична модель; транспортний засіб; стійкість руху.

**Постановка проблеми.** Досвід останніх бойових дій показує, що у більшості випадків, бойові колісні машини застосовуються у важких дорожніх умовах. Крім того, високе розміщення центру мас та обладнання машин шинами високої прохідності, що забезпечують високий рівень зчеплення коліс автомобіля із опорною поверхнею, створюють передумови до зростання ризику перекидання машини. Дослідження [1, с. 16–21, 2, с. 42–46, 3 с. 109–118] характеру коливань, викликаних переміщенням підресорених мас у поперечній площині під час подолання перешкоди, показало, що найбільш небезпечним є сам момент збурення коливань, коли підресорені маси набувають максимального прискорення, що, у свою чергу, може призвести до втрати поперечної стійкості автомобіля, так як наслідок – його перекидання. Оскільки потреба Збройних Сил України та інших силових структур в бойових колісних машинах активно зростає та спостерігається зростання активізації діяльності у цьому напрямку як заводів виробників, так і конструкторів, гостро постає проблема у адекватній оцінці поведінки транспортного засобу в умовах руху по пересіченій місцевості, при постійній зміні як площин, так і швидкостей руху.

Необхідність розробки методів оцінки поперечної стійкості транспортного засобу підтверджують експерти таких відомих у світі компаній, як the Alliance, AIAM, the National Automobile Dealers Association, Volkswagen, Ford, Volvo, Toyota, Nissan та ін. Вони виступили за розробку нової моделі оцінки ризику перекидання транспортного засобу, яка дозволить оцінити схильність автомобіля до перекидання, а також розробити дієві методи недопущення перекидання транспортного засобу. Незважаючи на визнання значимості оцінки поперечної стійкості автомобіля, однотайності міжнародної спільноти у даному питанні не має, як і чіткої відповідності між вимогами, що висуваються до транспортних засобів та методами, за допомогою яких проводиться оцінка стійкості автомобіля. Зрозумілим залишається одне: недопущення травмування пасажирів і водія, у результаті перекидання автомобіля, та недопущення «потрапляння» автомобіля у точку втрати стійкості – одні з основних питань забезпечення пасивної та активної безпеки транспортного засобу.

Автором зроблена спроба теоретичного вирішення цієї наукової задачі у вигляді розробленої моделі зміни поперечної стійкості прямолінійного руху автомобіля на постійній швидкості по пересіченій місцевості. Підтвердження адекватності даної моделі реальному процесу подолання автомобілем одиночної перешкоди потребувало розробки методики експериментального дослідження та його подальшої реалізації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Основи теорії стійкості та керованості автомобіля були закладені А.С. Літвіновим, Я.Х. Закіним та ін. Так, у роботі [4] викладена теорія стійкості та керованості автомобіля. Значна увага приділяється характеристикам еластичного колеса, від якого, в більшості випадків, залежить криволінійний рух автомобіля. Крім того проаналізовано зовнішні впливи а також характеристики елементів автомобіля, які впливають на його стійкість та керованість.

Ґрунтовному вивченню стійкості автопоїздів присвячена робота наукової школи проф. В.П. Сахно (Національний транспортний університет) [5, 6]. Зокрема проведений комплекс робіт з розробки математичних моделей для різноманітних режимів експлуатації автопоїздів та вибору їх оптимальної компоновальної схеми з метою поліпшення ефективності експлуатації без погіршення показників стійкості, керованості та маневреності.

Питання коливання автомобіля, викликані нерівностями дороги, розглядалися у роботі Р.В. Ротенберга [7, с. 3–14] в контексті їх впливу на експлуатаційні властивості автомобіля, перш за все, на забезпечення плавності ходу автомобіля.

Характерною особливістю розглянутих робіт є вирішення конкретних прикладних задач удосконалення експлуатаційних і конструктивних параметрів транспортного засобу, серед яких можливо виділити нерозглянуті шляхи, а саме: дослідження впливу поперечно-кутових коливань підресорених та непідресорених мас автомобіля на показники його поперечної стійкості, та відсутність аналітичного методу оцінки здатності автомобіля до подолання перешкод.

Запропонована модель є основою розробленого методу визначення критичних значень параметрів мікропрофілю місцевості для різних швидкостей руху автомобіля [8, с. 196–207] та методу термінального управління поперечною стійкістю прямолінійного руху автомобіля на пересіченій місцевості із заданою швидкістю руху [3, с. 109–118].

**Постановка завдання.** Метою експерименту є перевірка адекватності математичної моделі поперечної стійкості прямолінійного руху автомобіля із постійною швидкістю [1, с. 16–21]. Об'єктом випробувань є високомобільний важкий транспортувальник вантажу (особового складу) TATRA FORCE 4x4 T815-7L0R59 19 257 4x4.1R (далі – Зразок): ідентифікаційний № TNU7L0R599K000025, виготовлений чеською компанією-виробником транспортних засобів TATRA TRUCKS a. s., Корґівницеу у 2009 році (рис. 1), із спорядженою масою 10 200 кг.

**Планування експерименту.** Випробування Зразка проводилися у рамках проведення визначальних відомчих випробувань, на території Польового навчального центру Національної академії Державної прикордонної служби України (м. Хмельницький) на твердій і рівній ґрунтовій поверхні. Рух автотранспорту під час проведення експерименту був відсутній. Агрегати трансмісії та ходової частини Зразка перед початком випробувань були прогріті. Шини чисті, сухі, знос рисунка протектора не більше 5 %.

Польові експериментальні дослідження базувалися на вимірюванні параметрів руху Зразка інерційними чутливими елементами (датчиком) KіonіxKXTIK1004 3-axis Accelerometer [9] у реальних умовах руху. На рисунку 2 подано місце і спосіб кріплення в кабіні Зразка трикоординатного датчика прискорень та фотокамери NikonCoolpixL120, на рисунку 3 – схема встановлення трикоординатного датчика.



Рис. 1. Автомобіль TATRA FORCE 4x4 T815-7L0R59 19 257 4x4.1R. Вид 3/4 попереду праворуч



Рис. 2. Місце та спосіб кріплення датчика прискорень та камери

Зняття даних (прискорень обертання підресорених мас відносно центру обертання та кута нахилу підресорених мас відносно горизонту) здійснювалося одночасно датчиком прискорень KіonіxKXTIK1004 3-axis Accelerometer та камерою Nikon Coolpix L120.

Зразок випробовувався порожнім, навантаження на крюк не проводилося. Зразок розвивав фіксовану швидкість руху на рівній поверхні. Після забезпечення визначеної швидкості руху Зразком здійснювався наїзд на перешкоду (бетонна плита) лівим бортом автомобіля. Після повної зупинки Зразок повертався на вихідне положення та повторювався цикл випробувань. Випробування проводилися для руху із швидкостями 5, 10, 20 та 25 км/год, за трьох положень центру мас (нормальне положення, нижнє положення (-120 мм) та верхнє положення (+90 мм) (рис. 4). При цьому в кабіні Зразка знаходилося 3 чоловіки загальною масою 240 кг. Час одного заїзду становив близько 30 с.

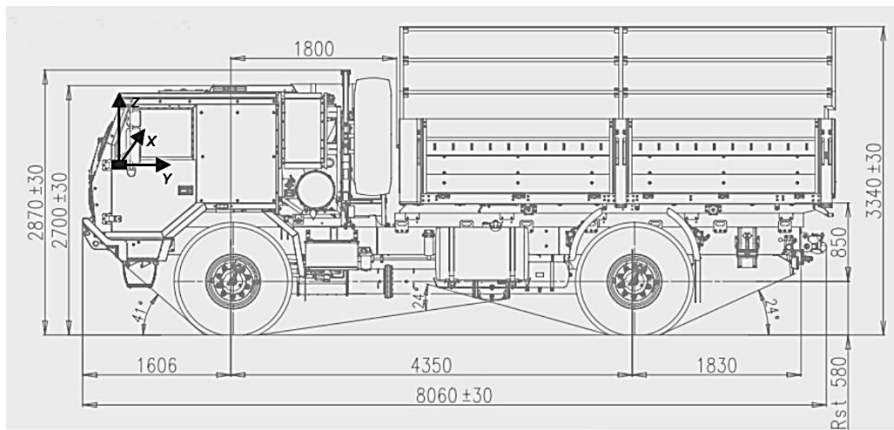


Рис. 3. Схема установки трикоординатного датчика прискорень та фотокамери на Зразку при проведенні експериментального дослідження

У процесі руху реєструвалися такі параметри: час руху  $t$ , с; швидкість руху за спідометром  $V_a$ , км/год.; прискорення переміщення підресорених мас за осями  $X, Y, Z$ ,  $m/c^2$ ; кути нахилу Зразка в поперечній та поздовжній площинах, град. Безперервний процес запису показань датчиків прискорень з частотою 50 Гц здійснювався за допомогою програмного забезпечення, яке дозволяє одночасно реєструвати дані та зберігати їх на microSD карті смартфона GSmartAkuA1, кути нахилу Зразка фіксувалися за допомогою фотокамери NikonCoolpixL120, яка працювала у режимі запису відео у форматі HD720p (1280x720) з частотою кадрів  $29\ c^{-1}$ .



Рис. 4. Зразок з верхнім (а) та нижнім (б) положенням центру мас

**Умови та місце проведення експерименту, матеріально-технічне забезпечення.** Метеорологічні умови при проведенні експерименту за даними метеослужби перед початком і наприкінці експерименту в зоні розташування майданчика, на якому проводилося дослідження, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Звіт з метеобстановки по місту Хмельницький за 06.12.16

| Час   | Опади      | Напрямок вітру   | Швидкість вітру, м/с | Температура повітря, °C | Вологість, % | Атмосферний тиск, мм рт. ст. |
|-------|------------|------------------|----------------------|-------------------------|--------------|------------------------------|
| 08:00 | Без опадів | Східний          | 7                    | -4,2                    | 61           | 732,7                        |
| 14:00 | Без опадів | Східний          | 6                    | -2                      | 89           | 733,2                        |
| 17:00 | Без опадів | Південно-Східний | 6                    | -1,6                    | 90           | 734,3                        |

В якості матеріально-технічного забезпечення, окрім зазначеного вище, використовувалися:

- ПЕОМ ASUSX401A заводський номер X401AWX4110;

- пристосування спеціальне для закріплення фотокамери;
- рулетка вимірювальна металева Р50УЗК ДСТУ 4179-2003.

Технічні характеристики Зразка відповідали заявленим Виробником [10]. Упродовж періоду випробувань Зразок був укомплектований штатним запасним інструментом та приладдям. Експлуатація Зразка в процесі випробування проводилася відповідно до інструкції з експлуатації (номер публікації: 01-0250-RUS/06). Пальне застосовувалося відповідно до інструкції з експлуатації та за якістю відповідало ДСТУ 3868-99 [11]. Контрольний огляд проводився відповідно до інструкції з експлуатації заводу-виробника інструментом та приладдям, які були в індивідуальному комплекті запасного інструменту та приладдя.

Дорожня ділянка відповідали умовам експлуатації Зразка в умовах ґрунтових доріг (прямолінійна ґрунтова ділянка, з нахилом поверхні  $10^\circ$  відносно горизонту та вертикальною перешкодою висотою 24 см). Під'їзні дорожні ділянки мали ґрунтове чисте покриття зі сніговим покривом до 14 см. Довжина під'їзних ділянок достатня для розгону та стабілізації контрольної швидкості руху Зразка до 30 км/год. Довжина ділянки для проведення експерименту складала 1000 м.

Під час експерименту постійно отримувалася та оброблювалася така інформація: прискорення переміщення підресорених мас Зразка у трьох площинах; час руху; кути нахилу підресорених мас Зразка відносно горизонту; швидкість руху Зразка.

Похибка значень прискорень, отриманих за допомогою мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу складала не більше 4 % (до 1 % – похибка акселерометру за паспортом і до 3 % – похибка установки).

Імітаційне моделювання процесу подолання Зразком вертикальної перешкоди висотою 24 см на похилій поверхні з кутом нахилу  $10^\circ$  показало можливість проведення експериментального дослідження у десять етапів. Небезпека перекидання Зразка з верхнім положенням центру мас при швидкості руху понад 10 км/год. була підтверджена під час проведення десятого етапу експерименту.

**Етапи проведення експерименту.** Перший, другий, третій та четвертий етапи – рух зі швидкістю 5, 10, 20 та 25 км/год, відповідно, з нормальним положенням центру мас Зразка по рівній ґрунтовій дорозі та наїздом на вертикальну перешкоду висотою 24 см. П'ятий, шостий, сьомий та восьмий етапи – рух із швидкістю 5, 10, 20 та 25 км/год., відповідно, з нижнім положенням центру мас Зразка ( $-120$  мм відносно нормального) по рівній ґрунтовій дорозі та наїздом на вертикальну перешкоду висотою 24 см. Дев'ятий та десятий етапи – рух із швидкістю 5 та 10 км/год., відповідно, з верхнім положенням центру мас Зразка ( $+90$  мм відносно нормального) по рівній ґрунтовій дорозі та наїздом на вертикальну перешкоду висотою 24 см.

**Результати обробки експериментально отриманих даних.** На рисунку 5 наведено одну з розгортку в часі зареєстрованих прискорень у двох площинах, що розвивалися підресореними масами Зразка у визначеному режимі руху, отриманих у результаті обробки Протоколу експериментального дослідження поперечної стійкості прямолінійного руху автомобіля TATRA FORCE 4x4 T815-7L0R59 19 257 4x4.1R, ідентифікаційний № TNU7L0R599K000025. На рисунку 6 наведено значення поперечних прискорень підресорених мас, що розвиваються досліджуванним Зразком з нормальним положенням центру мас при швидкості руху 5, 10, 20 та 25 км/год. безпосередньо у момент подолання Зразком вертикальної перешкоди висотою 24 см, отриманих під час проведення експерименту та імітаційного моделювання переміщення підресорених мас відносно центру обертання.

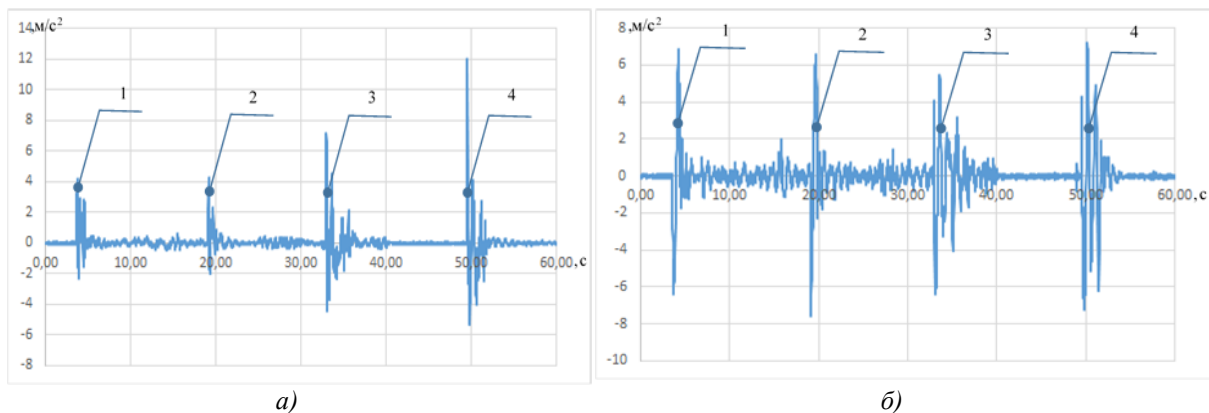


Рис. 5. Розгортка у часі зареєстрованих прискорень у двох площинах (а – поперечна (X), б – вертикальна (Z), що розвивалися підресореними масами Зразка у визначених режимах руху: 1 – 5 км/год.; 2 – 10 км/год.; 3 – 20 км/год.; 4 – 25 км/год.

На рисунку 7 наведено значення поперечних прискорень підресорених мас, що розвиваються досліджуваним Зразком з нижнім положенням центру мас при визначених швидкостях руху у момент подолання Зразком вертикальної перешкоди, отриманих під час проведення експерименту та імітаційного моделювання переміщення підресорених мас відносно центру обертання.

На рисунку 8 наведено значення поперечних прискорень підресорених мас, що розвиваються досліджуваним Зразком з верхнім положенням центру мас при визначених швидкостях руху у момент подолання Зразком вертикальної перешкоди, отриманих під час проведення експерименту та імітаційного моделювання переміщення підресорених мас відносно центру обертання.

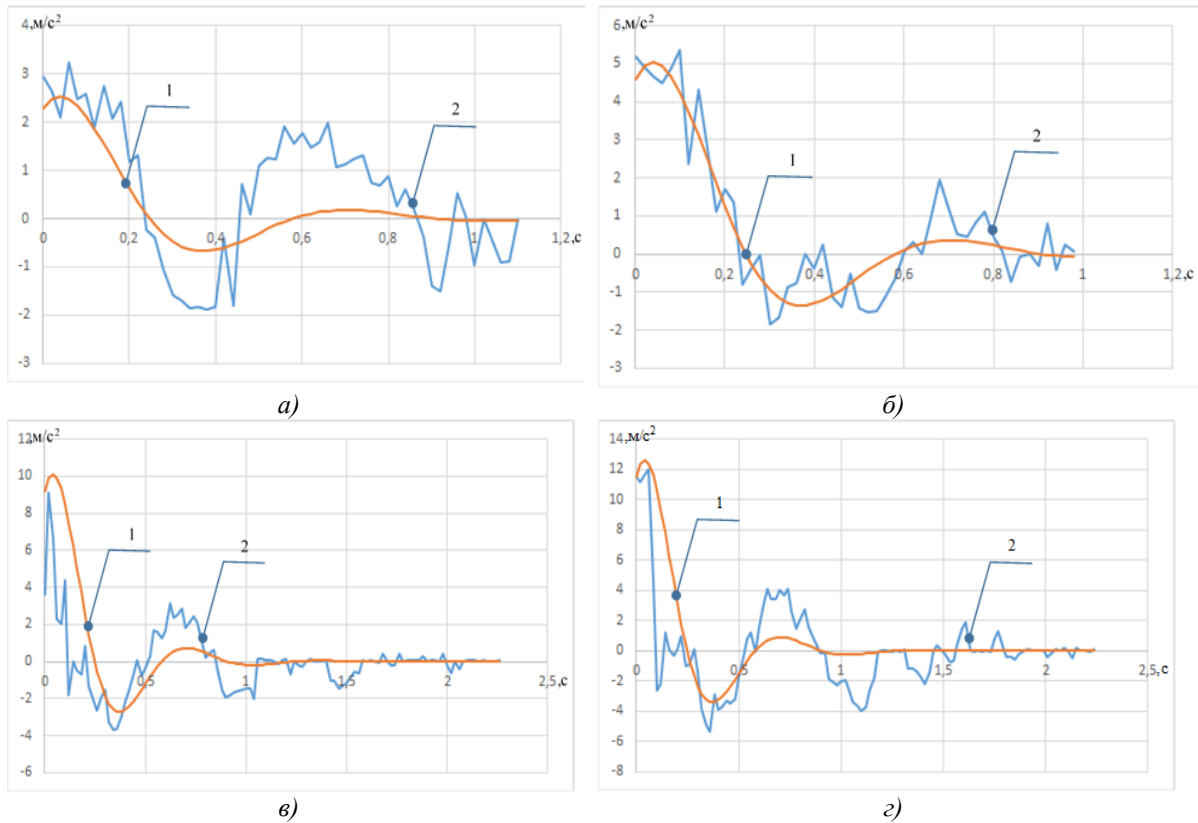
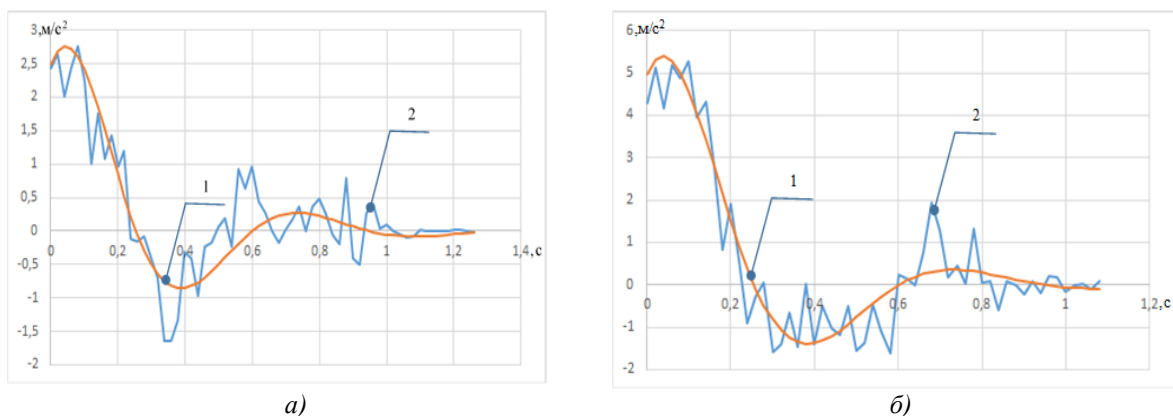


Рис. 6. Поперечні коливання підресореної маси досліджуваного Зразка з нормальним положенням центру мас при швидкості руху: а) 5 км/год.; б) 10 км/год.; в) 20 км/год.; з) 25 км/год.; 1 – прогнозовані значення прискорень; 2 – зареєстровані значення прискорень

Поточна швидкість прямолінійного руху Зразка в ході стабілізації швидкості руху та підтримання постійного її значення під час подолання перешкоди визначалася шляхом спостереження за показами спідометра та вважалася постійною з моменту припинення коливань швидкості руху на відрізку протяжністю не менше 200 м. Завершенням випробувального заїзду вважався момент, коли реєстровані значення прискорень у поперечній площині набували значень у межах  $0 \dots 0,3 \text{ м/с}^2$  та відбувалася повна зупинка Зразка.



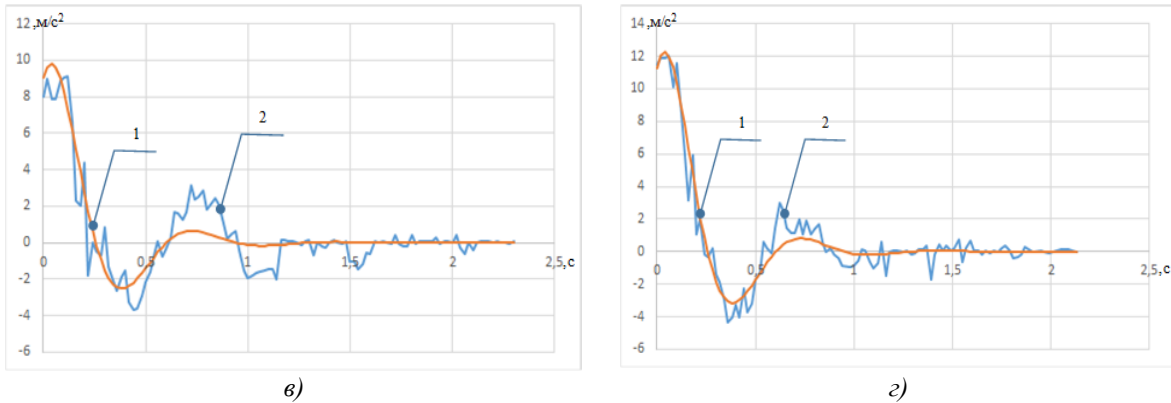


Рис. 7. Поперечні коливання підресореної маси досліджуваного Зразка з нижнім положенням центру мас при швидкості руху: а) 5 км/год.; б) 10 км/год.; в) 20 км/год.; г) 25 км/год.; 1 – прогнозовані значення прискорень; 2 – зареєстровані значення прискорень

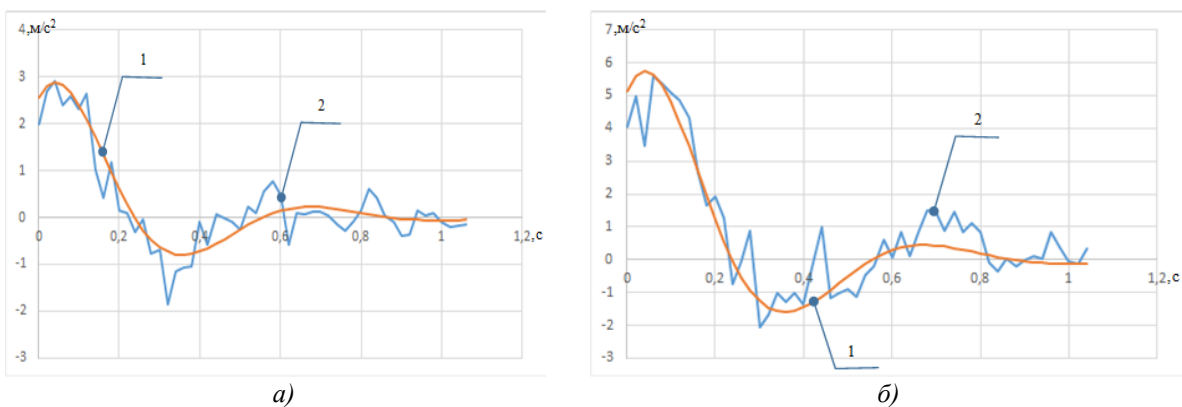


Рис. 8. Поперечні коливання підресореної маси досліджуваного Зразка з верхнім положенням центру мас при швидкості руху: а) 5 км/год.; б) 10 км/год.; 1 – прогнозовані значення прискорень; 2 – зареєстровані значення прискорень

Значення прискорень переміщення підресорених мас Зразка реєструвалися у вертикальних та горизонтальній площинах із зазначенням номеру вимірювання, інтервалів часу між реєстраціями значень та загального часу випробовування.

Закопи зміни кутових прискорень підресорених мас досліджуваного Зразка у часі отримано за виразом:

$$\ddot{\varphi}(t) = \frac{\dot{\beta}}{k_2} \cdot e^{-n_2 \cdot t} \cdot \left[ (k_2^2 - n_2^2) \cdot \sin(k_2 \cdot t) + 2 \cdot k_2 \cdot n_2 \cdot \cos(k_2 \cdot t) \right] \cdot r_{nm}; \quad (1)$$

де  $\ddot{\varphi}(t)$  – прискорення переміщення підресореної маси відносно центру обертання,  $rad/c^2$ ;  $\dot{\beta}$  – швидкість зміни кута нахилу опорної поверхні,  $rad/c$ ;  $n_2, k_2$  – дійсна та уявна частини кореня характеристичного рівняння.

З такими вхідними даними:

- повна та споряджена маса автомобіля – 10 200 кг;
- коефіцієнт підресорених мас – 24;
- колія – 2,072 м ( $\pm 300$  мм);
- радіус обертання підресорених мас – 1 м;
- висота центру мас – 1,43 м (-120 мм/+90 мм);
- відстань між центрами опорних коліс одного борту – 4,35 м;
- приведена кутова жорсткість підвіски – 20 м/рад;
- зведений коефіцієнт опору амортизуючих пристроїв – 40 кН/м;
- зведений коефіцієнт опору шин – 850 кН/м;
- кут нахилу опорної поверхні перешкоди – 90 град.

Отримані закопи зміни кутових прискорень підресорених мас досліджуваного Зразка у часі наведено у таблиці 2 та на рисунках 6–8 – лінія 1. Аналіз графіків, зображених на рисунках 6–8, свідчить про добру узгодженість дослідних розподілів величин поперечних прискорень підресореної маси з теоретичними законами.

**Перевірка узгодженості дослідного розподілу прискорень підресореної маси у часі з теоретичним законом розподілу.** Нульовою статистичною гіпотезою дослідження однорідності отриманих вибірок є проста неспрямована гіпотеза [10; 11] про те, що емпірична функція розподілу прискорень підресореної маси Зразка у часі, в момент подолання перешкоди з визначеною швидкістю руху, не відрізняється від теоретичної функції розподілу прискорень підресореної маси Зразка у часі в момент подолання перешкоди з визначеною швидкістю руху:

$$H_0 : F_{емп}(t) = F_{теор}(t), \quad (2)$$

де  $F_{емп}(t)$  – емпірична функція розподілу прискорень підресореної маси Зразка у часі в момент подолання перешкоди з визначеною швидкістю руху;  $F_{теор}(t)$  – теоретична функція розподілу прискорень підресореної маси Зразка у часі в момент подолання перешкоди з визначеною швидкістю руху.

Альтернативною статистичною гіпотезою дослідження однорідності отриманих вибірок є проста неспрямована гіпотеза [12; 13] про те, що емпірична функція розподілу прискорень підресореної маси Зразка у часі в момент подолання перешкоди з визначеною швидкістю руху відрізняється від теоретичної функції розподілу прискорень підресореної маси Зразка у часі в момент подолання перешкоди з визначеною швидкістю руху:

$$H_1 : F_{емп}(t) \neq F_{теор}(t). \quad (3)$$

Прийняття статистичних гіпотез проводиться на основі значення  $S^*$  статистики критерію, що застосовується. Висновок про прийняття або відхилення гіпотези  $H_0$  ґрунтується на умовному розподілі  $G(S | H_0)$  статистики  $S$  при прийнятій гіпотезі  $H_0$ . Якщо ймовірність є достатньо великою

$$P\{S > S^*\} = \int_{S^*}^{\infty} g(s | H_0) ds, \quad (4)$$

$$P\{S > S^*\} > \alpha;$$

де  $g(s | H_0)$  – умовна щільність;  $\alpha$  – заданий рівень значущості, то прийнято вважати, що підстави для відхилення гіпотези  $H_0$  відсутні [12].

Таблиця 2

Закони зміни кутових прискорень підресорених мас досліджуваного Зразка у часі

| Номер етапу експерименту  | Швидкість прямолінійного руху Зразка під час наїзду лівим бортом на перешкоду висотою 24 см, км/год. | Закон зміни кутових прискорень підресорених мас досліджуваного Зразка у часі, рад/с <sup>2</sup> |
|---------------------------|--|--|
| Висота центру мас 1,43 м: |  |  |
| 1                         | 5  | $a = e^{-3,991t} \cdot [2,294 \cdot \cos(9,474 \cdot t) + 2,239 \cdot \sin(9,474 \cdot t)]$      |
| 2                         | 10   | $a = e^{-3,991t} \cdot [4,588 \cdot \cos(9,474 \cdot t) + 4,479 \cdot \sin(9,474 \cdot t)]$      |
| 3                         | 20   | $a = e^{-3,991t} \cdot [9,176 \cdot \cos(9,474 \cdot t) + 8,957 \cdot \sin(9,474 \cdot t)]$      |
| 4                         | 25   | $a = e^{-3,991t} \cdot [11,471 \cdot \cos(9,474 \cdot t) + 11,197 \cdot \sin(9,474 \cdot t)]$    |
| Висота центру мас 1,34 м: |  |  |
| 5                         | 5  | $a = e^{-3,93t} \cdot [2,488 \cdot \cos(9,087 \cdot t) + 2,339 \cdot \sin(9,087 \cdot t)]$       |
| 6                         | 10   | $a = e^{-3,93t} \cdot [4,976 \cdot \cos(9,087 \cdot t) + 4,677 \cdot \sin(9,087 \cdot t)]$       |
| 7                         | 20   | $a = e^{-3,93t} \cdot [9,035 \cdot \cos(9,087 \cdot t) + 8,492 \cdot \sin(9,087 \cdot t)]$       |
| 8                         | 25   | $a = e^{-3,93t} \cdot [11,293 \cdot \cos(9,087 \cdot t) + 10,615 \cdot \sin(9,087 \cdot t)]$     |
| Висота центру мас 1,52 м: |  |  |
| 9                         | 5  | $a = e^{-4,047t} \cdot [2,562 \cdot \cos(9,934 \cdot t) + 2,623 \cdot \sin(9,934 \cdot t)]$      |
| 10                        | 10   | $a = e^{-4,047t} \cdot [5,124 \cdot \cos(9,934 \cdot t) + 5,245 \cdot \sin(9,934 \cdot t)]$      |

Оскільки висунуті гіпотези є простими, то доцільно розглянути критерії граничні розподілу, статистика яких є відомою. До таких критеріїв належать критерій Колмогорова, Смірнова,  $\omega^2$  та  $\Omega^2$  Мізеса. Корисною особливістю даних критеріїв є їх незалежність від закону розподілу, що досліджується, вважається, що вони «вільні від розподілу», коли застосування параметричних критеріїв, таких як критерій Пірсона ( $\chi^2$ ), t-критерій Стьюдента, критерій Фішера, критерій Романовського, критерій Кохрена та ін. виходять із припущення про нормальність розподілу оцінюваних рядів [14]. Оскільки зміна прискорень підресорених мас у часі для прямолінійного руху із визначеною швидкістю під час подолання перешкоди є результатом накладання один на одного затухаючого коливання та аперіодичних рухів системи [1, с. 16–21], то кінцевий вигляд закону, яким буде описуватися дана зміна прискорень у часі, буде залежати від вихідних умов, тобто способу збурення коливань, звідки припущення про нормальність розподілу такої зміни у часі є нелогічним. У такому випадку, для дослідження однорідності емпіричного і теоретичного розподілів варто застосувати непараметричні критерії узгодженості. Граничним розподілом статистики для таких критеріїв є:

$$D_n = \sup_{|x| < \infty} |F_{емп}(t) - F_{теор}(t)|, \quad (5)$$

де  $n$  – обсяг вибірки.

Розподіл  $G(S | H_0)$  статистик непараметричних критеріїв при простих і складних гіпотезах зі зростанням обсягу вибірки дуже швидко сходяться до граничних та уже при  $n \geq 15 \dots 20$  [13] дозволяє не боятися грубих помилок та користуватися цими граничними законами при аналізі даних. Оскільки обсяги вибірок для кожної з отриманих емпіричних та теоретичних функцій розподілу прискорень підресореної маси Зразка у часі в момент подолання перешкоди з визначеною швидкістю руху  $n_i \geq 50$  та враховуючи простоту конструкції, доцільним було оцінити значущість відмінностей між емпіричною та теоретичною вибірками за критерієм Колмогорова-Смірнова [13]. Розрахунок критерію Колмогорова-Смірнова для прийняття або відхилення нульової статистичної гіпотези проводився у програмному середовищі Office Excel, результати розрахунку наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Розрахункові значення критерію Колмогорова-Смірнова

| Номер етапу експерименту | Значення емпіричного критерію, $\lambda_{емп}$ | Значення критичного критерію, $\lambda_{0,05}$ | Рівень значущості, $\alpha$ | Статус нульової гіпотези (прийнята/відхилена) |
|--------------------------|--|--|-----------------------------|---|
| 1                        | 0,164  | 0,183  | 0,05                        | прийнята                                      |
| 2                        | 0,12   | 0,192  |                             | прийнята                                      |
| 3                        | 0,126  | 0,129  |                             | прийнята                                      |
| 4                        | 0,12   | 0,131  |                             | прийнята                                      |
| 5                        | 0,131  | 0,177  |                             | прийнята                                      |
| 6                        | 0,127  | 0,183  |                             | прийнята                                      |
| 7                        | 0,112  | 0,126  |                             | прийнята                                      |
| 8                        | 0,126  | 0,134  |                             | прийнята                                      |
| 9                        | 0,148  | 0,185  |                             | прийнята                                      |
| 10                       | 0,132  | 0,187  |                             | прийнята                                      |

Отримані емпіричні значення  $\lambda$ -критерію Колмогорова-Смірнова під час оцінки однорідності емпіричних та теоретичних рядів розподілу прискорень підресореної маси у часі, що виникали у результаті наїзду лівим бортом Зразка на перешкоду висотою 24 см із постійними швидкостями 10, 20 та 25 км/год., знаходяться у межах  $\lambda_{емп} \approx 0,12 \dots 0,132$ , окрім випадку руху зі швидкістю 5 км/год. ( $\lambda_{емп} \approx 0,148 \dots 0,164$ ), що пояснюється складністю підтримання постійної низької швидкості руху Зразка. Отже, у жодному з аналізованих випадків відсутні підстави для відхилення нульової гіпотези (2). Отримані результати підтверджують адекватність роботи розробленої математичної моделі поперечної стійкості прямолінійного руху автомобіля на постійній швидкості при різних швидкостях руху Зразка по пересіченій місцевості.

**Висновки.** Дослідження однорідності емпіричних та теоретичних вибірок, які аналізувалися дозволили прийняти нульові гіпотези на рівні значущості  $\alpha = 0,05$ . Таким чином результати експериментального дослідження підтвердили адекватність роботи розробленої математичної моделі поперечної стійкості прямолінійного руху автомобіля на постійній швидкості.



## Список використаної літератури:

1. *Башинський А.Л.* Моделювання поведінки підресорених і непідресорених мас автомобіля в момент переходу з горизонтальної площини руху на похилу / *А.Л. Башинський, С.А. Остапівський* // Наукові нотатки. – Луцьк : Друкарня Вежа-Друк, 2016. – Вип. 55. – С. 16–21.
2. *Башинський А.Л.* Метод визначення критичної висоти перешкоди, яку може подолати автомобіль при заданій швидкості його прямолінійного руху без втрати поперечної стійкості / *А.Л. Башинський* ; під ред. *В.В. Свєдокімов* // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2016. – № 2 (77). – С. 42–46.
3. *Башинський А.Л.* Метод термінального управління поперечною стійкістю прямолінійного руху автомобіля на пересіченій місцевості з заданою швидкістю руху / *А.Л. Башинський* ; під ред. *Б.М. Олексієнко* // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2017. – № 26. – С. 109–118.
4. *Литвинов А.С.* Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств : учебник для вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство» / *А.С. Литвинов, Я.С. Фаробин*. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.
5. *Сирота В.І.* Автомобілі. Основи конструкції, теорія / *В.І. Сирота, В.П. Сахно*. – К. : Арістей, 2011. – 356 с.
6. *Сахно В.П.* Розробка комп'ютерної моделі автопоїзда / *В.П. Сахно, П.Б. Прогній* // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2014. – № 2. – С. 103–108 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdiat\\_2014\\_2\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdiat_2014_2_19).
7. *Ротенберг Р.В.* Подвеска автомобиля / *Р.В. Ротенберг*. – Изд. 3-е, переработ. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 392 с.
8. *Башинський А.Л.* Метод оцінки поперечної стійкості автомобіля при наїзді на перешкоду за умови зчеплення коліс / *А.Л. Башинський, С.Остапівський* ; під ред. *Б.М. Олексієнко* // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки : наукове видання. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2016. – № 4 (70). – С. 196–207.
9. КХТИК-1004 Specifications Rev 3 : 578-4177-1212201214. – Kionix, 2011. – 55 с.
10. Технические и эксплуатационные характеристики. Военные автомобили TATRA : станом на 06 грудня 2016 р. – Копршивнице : TATRA EXPORT, 2011. – 62 с. [Электронный ресурс] – Режим доступу : [http://www.tatra.ru/underwood/download/files/tatra-military-vehicles\\_ru.pdf](http://www.tatra.ru/underwood/download/files/tatra-military-vehicles_ru.pdf).
11. Паливо дизельне. Технічні умови : ДСТУ3868-99:2007 : станом на 1999-09-01. – К. : Відділ поліграфії науково-технічних видань УкрНДІСІ, 1999. – 12 с.
12. *Руденко В.М.* Математична статистика : навч. посібник / *В.М. Руденко*. – К. : Центр учбової літератури, 2012. – 304 с.
13. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Ч. II. Непараметрические критерии : Р 50.1.037-2002 : станом на 22 січня 2002. – М. : Стандартиформ, 2002. – 61 с.
14. Системологія на транспорті : у 5 кн. / *Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля* та інші ; за заг. ред. *М.Ф. Дмитриченка*. – К. : Знання України, 2005. – Кн. II : Технологія наукових досліджень і технічної творчості. – 318 с.

## References:

1. Bashyns'kyj, A.L. and Ostashevs'kyj, S.A. (2016), «Modeljuvannja povedinky pidresorenyh i nepidresorenyh mas avtomobilja v moment perehodu z goryzontal'noi' ploshhyny ruhu na pohylu», *Naukovi notatky*, Iss. 55, Pp. 16–21.
2. Bashyns'kyj, A. L. and Ostashevs'kyj, S. A. (2016), «Metod vyznachennja krytychnoi' vysoty pereshkody, jaku mozhe podolaty avtomobil' pry zadanij shvydkosti jogo prjamolinijnogo ruhu bez vtraty poperechnoi' stijkosti», *Visnyk Zhytomyrs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *tehnicni nauky*, No. 2 (77), Pp. 42–46.
3. Bashyns'kyj, A.L. (2017), «Metod terminal'nogo upravlinnja poperechnoju stijkistju prjamolinijnogo ruhu avtomobilja na peresichenij miscevosti z zadanoju shvydkistju ruhu», *Zbirnyk naukovyh prac' Nacional'noi' akademii' Derzhavnoi' prykordonnoi' sluzhby Ukrainy*, Serija *vijs'kovi ta tehnicni nauky*, No. 26, Pp. 109–118.
4. Litvinov, A.S. and Farobin, Ya.E. (1989), *Avtomobil': Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv, uchebnik dlya vuzov po spetsial'nosti «Avtomobili i avtomobil'noe khozyaystvo»*, Mashinostroenie, Moskva, 240 p.
5. Sirota, V.I. and Sahno, V.P. (2011), *Avtomobil'. Osnovi konstruktzii, teoriya*, ArIstey, Kyi'v, 356 p.
6. Sahno, V.P. and Progniy, P.B. (2014), «Rozrobka komp'yuternoyi modeli avtopoyizda», *Visnik Donetskoji akademiji avtomobilnogo transportu*, No. 2, Pp. 103–108.
7. Rotenberg, R.V. (1972), *Podveska avtomobilya*, 3<sup>rd</sup>, pererabot. i dop., Mashinostroenie, Moskva, 392 p.
8. Bashyns'kyj, A.L. and Ostashevs'kyj, S.A. (2016), «Metod ocinky poperechnoi' stijkosti avtomobilja pry nai'zdi na pereshkodu za umovy zcheplennja kolis», *Zbirnyk naukovyh prac' Nacional'noi' akademii' Derzhavnoi' prykordonnoi' sluzhby Ukrainy*, Serija *vijs'kovi ta tehnicni nauky*, No. 4 (70), Pp. 196–207.
9. Kionix (2011), «KHTIK-1004 Specifications Rev 3: 578-4177-1212201214», 55 p.
10. TATRA EXPORT (2011), *Tekhnicheskie i ekspluatatsionnye kharakteristiki, Voennye avtomobili TATRA*, stanom na 06 grudnja 2016, Koprshivnitse, 62 p.
11. DSTU (2007), *Palyvo dyzel'ne. Tehnicni umovy, DSTU3868-99:2007*, Viddil poligrafii' naukovo-tehnicnyh vydan' UkrNDISSI, Kyi'v, 12 p.
12. Rudenko, V.M. (2012), *Matematychna statystyka*, Centr uchbovoi' literatury, Kyi'v, 304 p.
13. Prikladnaya statistika (2002), *Pravila proverki soglasiya opytnogo raspredeleniya s teoreticheskim*, P. II, Neparаметрические критерии, R 50.1.037-2002, Standartinform, Moskva, 61 p.
14. Gavrylov, E.V., Dmytrychenko, M.F. and Dolja, V.K. (2005), *Systemologija na transporti, pidruchnyk*, u 5 kn., Kn. II *Tehnologija naukovyh doslidzhen' i tehnicnoi' tvorchosti*, Znannja Ukrainy, Kyi'v, 318 p.

**Башинський** Андрій Леонідович – кандидат технічних наук; старший викладач кафедри транспортних засобів та спеціальної техніки Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького.

Наукові інтереси:

– стійкість транспортного засобу.

Тел.: +38 (098) 557–11–81.

E-mail: andreyingener@gmail.com.

**Осташевський** Сергій Анатолійович – доктор технічних наук, доцент; начальник кафедри транспортних засобів та спеціальної техніки Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького.

Наукові інтереси:

– ергономіка транспортного засобу.

Тел.: +38 (067) 384–19–57.

E-mail: astash73@gmail.com.

**Малахов** Павло Михайлович – слухач; начальник відділу технічного забезпечення Східного регіонального управління Державної прикордонної служби України.

Наукові інтереси:

– поперечна стійкість.

Тел.: +38 (067) 575–24–98.

E-mail: superpaska@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2018.