

УДК 623.119



Р. О. Кайдалов



В. В. Глущенко



Г. М. Маренко



О. В. Літвінов

## ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІЧНОСТІ БРОНЕТРАНСПОРТЕРІВ БТР-4Е ТА БТР-4К З РІЗНИМИ СИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ

*Наведено умови та порядок проведення експериментальних досліджень з визначення показників динамічності бронетранспортерів БТР-4Е та БТР-4К з різними силовими установками. Оцінено показники динамічності бронетранспортерів БТР-4Е та БТР-4К з різними силовими установками. Запропоновано шляхи підвищення показників динамічності броньованих колісних машин.*

*К л ю ч о в і с л о в а: бронетранспортер, лінійні прискорення, метод парціальних прискорень.*

**Постановка проблеми.** Досвід виконання Національною гвардією України (НГУ) та іншими силовими структурами держави завдань за призначенням, особливо в зоні проведення операцій об'єднаних сил (ООС), показав, що в умовах безпосереднього зіткнення з противником для швидкого перевезення особового складу, знищення живої сили противника, супроводження військових автомобільних колон, підсилення блокпостів використання не броньованих колісних машин (БКМ) є малоефективним [1]. Найбільш застосовуваними в сучасних умовах ведення бойових дій є такі броньовані машини (БМ), як бронетранспортери (БТР). Становлення НГУ як нової силової структури держави, створеної на базі внутрішніх військ МВС України у березні 2014 року, супроводжується поступовою зміною парку машин, у тому числі бронетранспортерів [2]. Одним із перспективних напрямків реалізації технічного переоснащення є закупівля продукції ДП “КБТЗ” і ДП “ХКБМ ім. О. О. Морозова”, а саме БТР-3Е та БТР-4Е і їх модифікацій.

Проте нові бронетранспортери БТР-3Е та БТР-4Е комплектуються різними силовими установками з різними характеристиками, що особливо впливає на показники динамічності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Базові машини БТР-3Е та БТР-4Е і їх модифікації, що поступають на озброєння до НГУ та інших силових структур держави, оснащуються одною із чотирьох силових установок (УТД-20, MTU 6R106ND21 “Мерседес”, ЗТД-3А, DEUTZ BF6M1015CP), які відрізняються типом та технічними характеристиками, що впливає на динаміку руху машини, особливо під час руху в колоні.

У наукових працях [3 – 6] розглянуті загальні питання перспектив розвитку та технічного переоснащення силових структур України новими броньованими машинами, але у цих працях відсутні оцінки показників їх динамічності. У статті [7] виконано порівняльне оцінювання силових установок БТР-4 з різними двигунами, але немає комплексного оцінювання динаміки руху машин з різними силовими установками. Результати експериментальних досліджень показників динамічності броньованих автомобілів наведено у тезах доповіді [8] без відповідного оцінювання бронетранспортерів.

Отже, визначення показників динамічності бронетранспортерів з різними силовими установками шляхом проведення експериментальних дослідів є актуальним.

**Метою статті** є оцінювання показників динамічності бронетранспортерів БТР-4Е та БТР-4К з різними силовими установками.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктами експериментальних досліджень показників динамічності були бронетранспортери БТР-4Е (рисунок 1, а) і БТР-4К (рисунок 1, б) з силовими установками ЗТД-3А та DEUTZ BF6M1015CP відповідно.



*a*



*б*

Рис. 1. Експериментальні зразки бронетранспортерів:  
*a* – БТР-4Е; *б* – БТР-4К

Основні технічні характеристики бронетранспортерів наведено у таблиці 1.

Т а б л и ц я 1

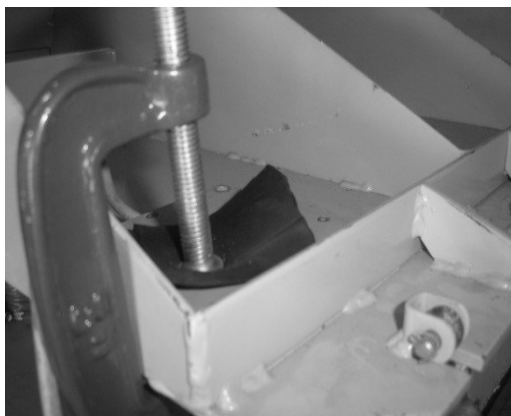
*Основні технічні характеристики БТР-4Е та БТР-4К*

Характеристики	БТР-4Е	БТР-4К
Колісна формула	8×8	
Повна маса (без встановлення додаткового захисту), кг	21 900	22 271
Екіпаж/десант	3/7	
Розміщення відділення десанту	у кормі корпусу	
Довжина, мм	7 895	7 920
Ширина корпусу (по підніжках), мм	2 965	2 895
Висота, мм	3 050	3 070
Ширина колії, мм	2 445	2 475
База, мм	4 400	4 385
Кліренс, мм	475	418
Максимальний кут підйому, град	30	
Максимальний кут крену, град	25	
Ширина рову, м	не більше 2,0	
Висота вертикальної стінки, м	не більше 0,5	
Двигун	двотактний багатопаливний 3ТД-3А	чотиритактний дизельний DEUTZ BF6M1015CP
Максимальна потужність двигуна, кВт/к.с.	368/500	331/450
Питома потужність двигуна, кВт/т / к.с./т	16,8/22,83	14,5/19,81
Коробка перемикання передач	однопоотокова гідромеханічна передача, складається з гідротрансформатора, планетарної коробки передач і системи керування	автоматична КП Allison 4500SP–P з електронним блоком керування та власною системою змащення
Ведучі мости	центральні, з диференціалами, що самоблокуються	
Підвіска	незалежна, торсіонна з гідравлічним амортизатором	
Максимальна швидкість, км/год		
– по шосе	110	110
– на плаву	8	8
Запас ходу по шосе, км	759	975

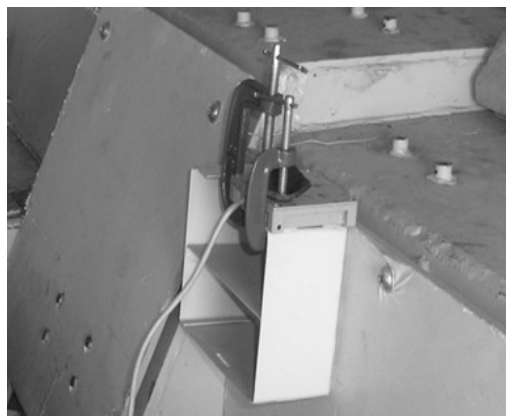
Експериментальні дослідження проводились на горизонтальній ділянці дороги з твердим рівним бетонним покриттям та на ділянці ґрунтової дороги. Поздовжній і поперечний ухили дороги, на якій проводився експеримент, не перевищували 1,5 %. Агрегати трансмісії і ходової частини БТР-4Е та БТР-4К перед початком випробувань були прогріті. Шини чисті, сухі, знос рисунка протектора не більше 5 %.

Дорожні експериментальні дослідження базувалися на вимірюванні параметрів руху БТР-4Е та БТР-4К інерційними чутливими елементами (датчиками) в реальних умовах руху. На рисунку 2 показані місця і спосіб кріплення у десантному відділенні бронетранспортерів трикоординатних датчиків прискорень (акселерометрів) у кількості двох одиниць на кожну машину.

акселерометр № 445



акселерометр № 446



*a*

акселерометр № 445



акселерометр № 446



*б*

Рис. 2. Кріплення трикоординатних датчиків прискорення у десантному відділенні:  
*a* – БТР-4Е; *б* – БТР-4К

Отримання даних за поздовжнім прискоренням БТР здійснювалось одночасно з двох датчиків, що дозволило підвищити точність вимірювань за рахунок усереднення одержуваних значень. Схема розташування трикоординатних датчиків прискорення у десантному відділенні бронетранспортерів під час експерименту наведена на рисунку 3.

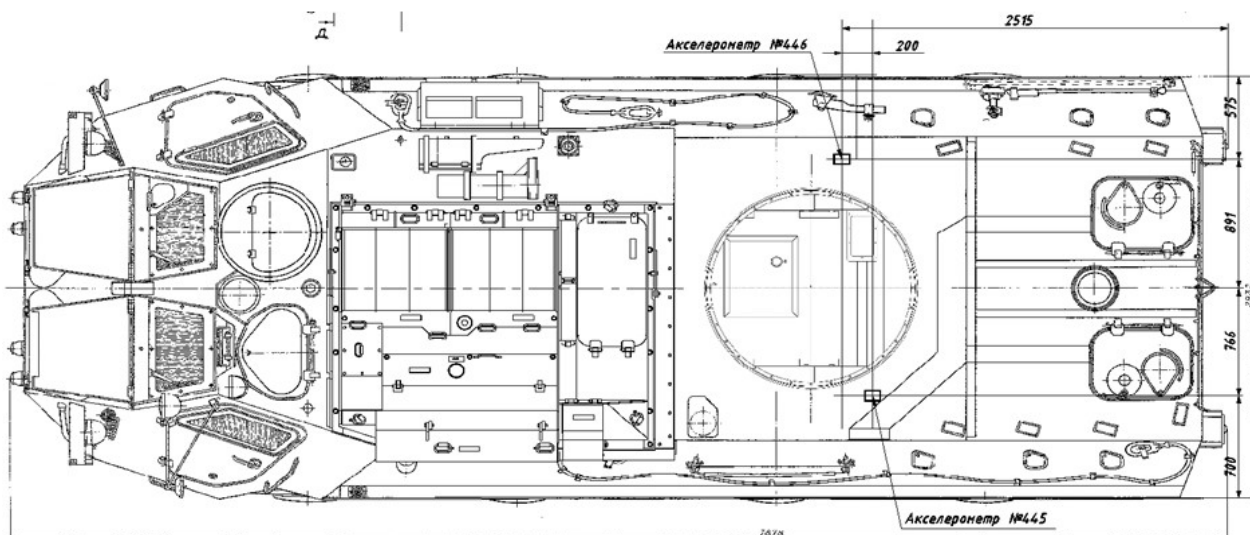


Рис. 3. Схема розташування трикоординатних датчиків прискорення у десантному відділенні бронетранспортерів

Експериментальні дослідження проводилися у Харківській області. Траєкторія руху БТР під час досліджень наведена на рисунку 4. Довжина ділянки ґрунтової дороги складала 2 342 м, а з бетонним покриттям – 1 270 м.



*a*



*б*

Рис. 4. Траєкторія руху бронетранспортерів під час експериментальних досліджень:  
*a* – ділянка ґрунтової дороги; *б* – ділянка дороги з бетонним покриттям

Метеорологічні умови за даними метеослужби перед початком і у кінці експерименту в зоні ділянки дороги, на якій проводилися дослідження, наведено у таблиці 2.

Т а б л и ц я 2

*Метеорологічні умови експерименту*

Час	Опади	Напрямок вітру	Швидкість вітру, м/с	Температура повітря, °С	Вологість, %	Атм. тиск мм рт. ст.
10:00	без опадів	північний	5	+29	63	750
11:00	без опадів	північний	5	+29,5	62	750
12:00	без опадів	північний	5	+30	61	750

Дорожні ділянки відповідають умовам експлуатації БТР-4Е та БТР-4К на цементно-бетонних дорогах (прямолінійні, горизонтальні з гладким, сухим і чистим покриттям) та ґрунтових дорогах (рисунок 5). Поздовжні ухили на ділянках цементно-бетонних доріг не більше 0,05 %, поперечні – не більше 1,5 %. Підізні дорожні ділянки мали аналогічне покриття і довжину, достатню для розгону і стабілізації швидкості бронетранспортерів.



Рис. 5. Ділянки дороги з ґрунтовим (а) та цементно-бетонним (б) покриттям, на яких проводились експериментальні дослідження

Вимірювання динамічних показників БТР проводились відповідно до експлуатаційно-технічної документації на зразки. Під час експерименту інформація постійно отримувалася та оброблювалася мобільним реєстраційним вимірювальним комплексом (МРВК). У процесі руху реєструвалися значення прискорень за осями  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  з двох датчиків (для переведення в поздовжні, поперечні та вертикальні прискорення).

Безперервний процес запису показань з датчиків прискорень здійснювався за допомогою спеціальної програми, яка дозволяє одночасно реєструвати дані і зберігати їх на жорсткому диску ЕОМ, а також візуалізувати процес випробувань. Бронетранспортери рухалися по ґрунтовій та цементно-бетонній дорогах у двох режимах коробки передач: “автомат” та “напівавтомат”. Показники динамічності БТР-4Е та БТР-4К визначались шляхом спостереження за показниками контрольно-вимірювальних пристроїв та МРВК.

Показники, які можна отримувати у результаті обробки інформації, наведені у таблиці 3.

Т а б л и ц я 3

*Показники, які можна визначати за допомогою МРВК*

Властивість (характеристика)	Показники
Опір руху машин	сумарна сила опору коченню коліс; сила опору повітря; сумарний коефіцієнт дорожнього опору; фактор обтічності
Стійкість колісних машин	поздовжні прискорення колісних машин; бічні прискорення колісних машин; вертикальні прискорення колісних машин; лінійна швидкість
Керованість колісних машин	частота власних коливань у площині дороги; коефіцієнт динамічності коливань; параметри маневреності одиночних ТЗ; кутові швидкості; кутові прискорення; миттєві радіуси повороту
Тягово-швидкісні характеристики	тягова сила на колесах в режимі реального часу; потужність двигуна, що витрачається на подолання аеродинамічного опору руху автомобіля
Потужність	вільна (що використовується для розгону) потужність двигуна; потужність двигуна, що витрачається на рух
ККД автомобіля	миттєвий ККД автомобіля

Похибка значень прискорень, отриманих за допомогою МРВК, складала не більше 4 % (1 % – похибка акселерометрів за паспортом і до 3 % – похибка установки).

За результатами обробки результатів експериментальних досліджень показників динамічності БТР отримані дані, що подані у таблиці 4 та на рисунку 6.

Т а б л и ц я 4

*Порівняльний аналіз тягово-динамічних показників БТР-4Е та БТР-4К*

Показники	БТР-4Е	БТР-4К
Кількість замірів прискорень	14 680	3 376
Середня величина прискорення, м/с <sup>2</sup>	0,134	0,023
Медіана, м/с <sup>2</sup>	0,143	0,017
Мода, м/с <sup>2</sup>	0,143	-0,023
Частота моди	537	190
Мінімальне прискорення, м/с <sup>2</sup>	-3,41	-1,6
Максимальне прискорення, м/с <sup>2</sup>	3,38	1,83
Дисперсія, м <sup>2</sup> /с <sup>4</sup>	0,55	0,26
Середнє квадратичне відхилення, м/с <sup>2</sup>	0,74	0,51
Коефіцієнт варіації	551,6	2 250,8
Стандартна помилка	0,0061	0,009

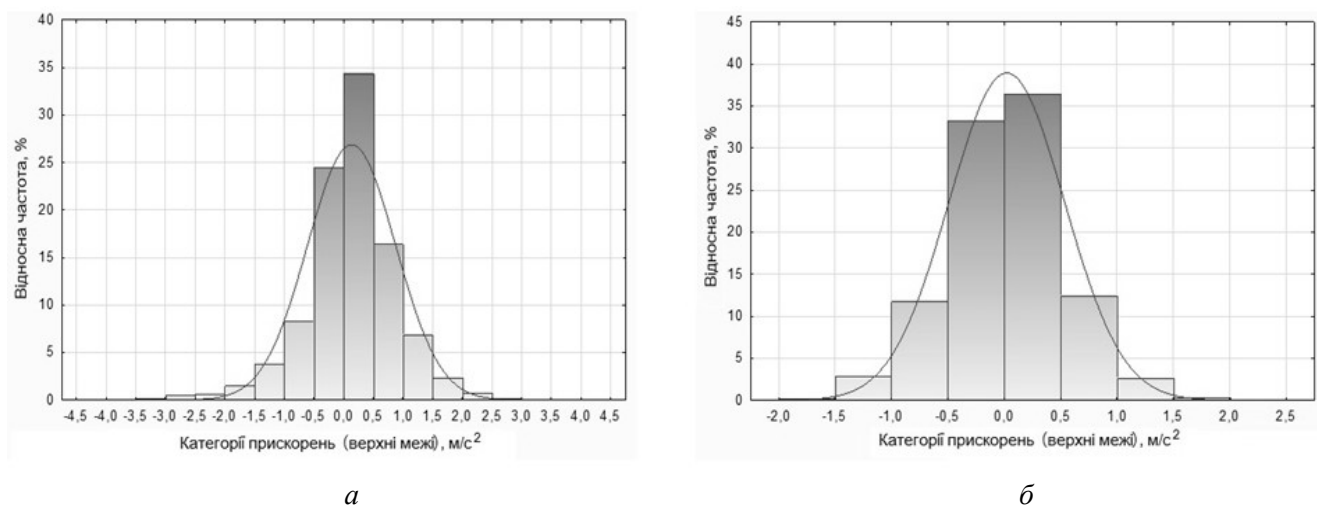


Рис. 6. Гістограма розподілу лінійних прискорень бронетранспортерів:  
а – БТР-4Е; б – БТР-4К

### Висновки

У результаті проведених експериментальних досліджень з визначення показників динамічності БТР-4Е та БТР-4К із силовими установками ЗТД-3А та DEUTZ BF6M1015CP відповідно, встановлено таке:

- максимальне прискорення БТР-4К (1,83 м/с<sup>2</sup>) менше на 54 % ніж максимальне прискорення БТР-4Е (3,38 м/с<sup>2</sup>), що свідчить про кращу динаміку розгону машини з силовою установкою ЗТД-3А;
- діапазон зміни прискорення у БТР-4К складає 3,43 м/с<sup>2</sup>, а у БТР-4Е він становить 6,79 м/с<sup>2</sup>, що також свідчить про кращу динаміку розгону і гальмування БТР-4Е;
- більш високі показники динамічності БТР-4Е з силовою установкою ЗТД-3А ніж у БТР-4К з силовою установкою DEUTZ BF6M1015CP можна пояснити більшою питомою потужністю першої машини (22,9 к.с./т) ніж у другої (20,7 к.с./т);

– підвищення показників динамічності БТР-4К можна забезпечити не тільки шляхом встановлення дизельного двигуна більшої потужності, а й зменшенням маси машини, що дозволить підвищити питому потужність.

Звертаємо увагу, що у ході використання першої партії нових машин БТР-4Е з силовими установками ЗТД-3А під час ведення бойових дій у зоні ООС виявлено низку недоліків, а саме:

- значний демаскувальний звук машини;
- значний час на підготовку машини до запуску (15–20 хв), особливо за низьких температур, що суттєво знижує живучість машини в сучасних умовах ведення бойових дій;
- малий ресурс силової установки (1000 м.г.) та її низька ремонтпридатність, особливо у разі використання обладнання пересувних засобів військового ремонту в польових умовах.

Отже, вибір найбільш раціональної силової установки для лінійки бронетранспортерів БТР-4Е та їх модифікації потребує комплексного науково обґрунтованого підходу.

Одним із перспективних напрямків підвищення показників динамічності колісних машин, у тому числі БТР, слід вважати використання комбінованої енергетичної установки. Це своєю чергою дозволило б: збільшити ККД; підвищити інтенсивність зростання крутного моменту та пришвидшити зміну тягової сили на колесах за величиною і напрямком, що дасть змогу протягом короткого часу змінювати не тільки лінійну швидкість руху а й виконувати різноманітні маневри (рух “крабом”, розворот на місці тощо); забезпечити скритний (безшумний) режим руху машини у разі використання електричної енергії акумуляторних батарей при працюючому тепловому двигуні для приводу ведучих коліс [9, 10].

#### **Список використаних джерел**

1. Визначення коефіцієнта падіння потужності автомобілів, які входять до складу військової автомобільної колони [Текст] / М. А. Подригало, Р. О. Кайдалов, Д. В. Абрамов, А. І. Нікорчук // Дванадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору” : тези доп., 13 – 14 квіт. 2016 р. – Харків : ХУПС імені Івана Кожедуба, 2016. – С. 295.
2. Кайдалов, Р. О. Оцінка зміни складу парку автомобілів та бойових машин Національної гвардії України та шляхи його удосконалення [Текст] / Р. О. Кайдалов // Одинадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору” : тези доп., 08 – 09 квіт. 2015 р. – Харків : ХУПС імені Івана Кожедуба, 2015. – С. 260 – 261.
3. Перспективи розвитку бронетанкового озброєння і техніки Сухопутних військ Збройних Сил України [Текст] / В. Костюк, О. Калінін, П. Русіло та ін. // Військово-технічний збірник. – Львів : АСВ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2012. – № 2(7). – С. 89–94.
4. Концептуальний підхід до формування перспективних типів бойових броньованих машин [Текст] / І. Чепков, С. Лапицький, В. Голуб та ін. // Наука і оборона. – 2013. – № 2. – С. 35–41.
5. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ [Текст] : зб. тез доп. П'ятої Всеукр. наук.-техн. конф., Львів, 15–17 трав. 2012 р. – Львів : АСВ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2012. – 378 с.
6. Пеньковський, В. І. Перспективи БТР-4 в Збройних Силах України [Текст] / В. І. Пеньковський, О. В. Устименко // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ : зб. тез доп. Міжнародної наук.-техн. конф., Львів, 22–24 трав. 2013 р. – Львів : АСВ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2013. – С. 48–50.
7. Сравнительная оценка силовых установок БТР-4 с различными двигателями [Текст] / А. В. Бобер, В. А. Зарянов, С. Г. Крот и др. // Механика и машиностроение. – 2014. – № 1. – С. 58–67.
8. Експериментальні дослідження показників динамічності броньованих автомобілів при визначальних відомчих випробуваннях [Текст] / Р. О. Кайдалов, Ю. В. Тарасов, Г. М. Маренко та ін. // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах : тези доп. 16-ї наук.-техн. конф., Чернігів, 08 – 09 верес. 2016 р. – ДНВЦ ЗС України. – Чернігів : ФОП Бригинець О. В., 2016. – С. 109 – 110.
9. Кайдалов, Р. О. Дослідження можливості зниження енергетичних втрат автомобіля при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс [Текст] / Р. О. Кайдалов // Системи обробки інформації. – 2016. – № 9. – С. 13–17.

10. Кайдалов, Р. О. Оцінка впливу нерівномірності крутного моменту ДВЗ на додаткові втрати енергії при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс [Текст] / Р. О. Кайдалов // Механіка машинобудування. – 2016. – № 1. – С. 50–58.

*Стаття надійшла до редакції 06.05.2019 р.*

**УДК 623.119**

**Р. О. Кайдалов, В. В. Глущенко, Г. Н. Маренко, А. В. Литвинов**

### **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИНАМИЧНОСТИ БРОНЕТРАНСПОРТЕРОВ БТР-4Е И БТР-4К С РАЗЛИЧНЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ**

*Приведены условия и порядок проведения экспериментальных исследований по определению показателей динамичности бронетранспортеров БТР-4Е и БТР-4К с различными силовыми установками. Оценены показатели динамичности бронетранспортеров БТР-4Е и БТР-4К с различными силовыми установками. Предложены пути повышения показателей динамичности бронированных колесных машин.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: бронетранспортер, линейные ускорения, метод парциальных ускорений.*

**UDC 623.119**

**R. O. Kaydalov, V. V. Glushchenko, G. M. Marenko, O. V. Litvinov**

### **ASSESSMENT OF INDICATORS OF DYNAMICITY OF APC BTR-4E AND BTR-4K WITH DIFFERENT POWER UNITS**

*The conditions and procedure for conducting experimental studies to determine the performance of the dynamic characteristics of the BTR-4E and BTR-4K armored personnel carriers with different power units have been presented. Dynamic characteristics of armored personnel carriers BTR-4E and BTR-4K with different power plants have been determined. The ways of improving the dynamics of armored wheeled vehicles have been proposed.*

*Experimental studies have been carried out to determine the dynamics of the BTR-4E and BTR-4K with the 3TD-3A and DEUTZ BF6M1015CP power units.*

*The analysis of the use of the first batch of new BTR-4E vehicles with 3TD-3A power units during combat operations in the area of the combined forces operation revealed a number of shortcomings, namely:*

- significant masking machine sound;*
- considerable time to prepare the machine for launch (15-20 minutes), especially when working at low temperatures, which significantly reduces the survivability of the machine in modern combat conditions;*
- low power of the power plant and its low operating costs, especially when using military equipment for military repair in field conditions.*

*Based on experimental studies, it was concluded that the use of a particular power plant for BTR-4E linear armored personnel carriers and their modifications requires a comprehensive, scientifically based approach to choosing the most rational one.*

*One of the promising areas for improving the dynamics of wheeled vehicles, including armored personnel carriers, should be considered the use of hybrid electromechanical drive wheels, the use of which would: increase efficiency; increase the intensity of torque increase and the rapid change in thrust at the wheels in size and direction, which will allow you to change quickly not only the linear speed of movement, but also perform various maneuvers (crab movement, turning in place, etc.), ensure the secret (silent) mode of movement when using the electric drive from the electric energy of the batteries when the thermal engine is not running.*

*К е y w o r d s: armored personnel carrier, linear acceleration, partial acceleration method.*



**Кайдалов Руслан Олегович** – доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0002-5131-6246](http://orcid.org/0000-0002-5131-6246)

**Глуценко Віталій Володимирович** – кандидат технічних наук, заступник начальника Національної академії Національної гвардії України з тилу – начальник відділу тилового забезпечення.

[http:// orcid.org/ 0000-0002-6562-9032](http://orcid.org/0000-0002-6562-9032)

**Маренко Геннадій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0002-7461-9168](http://orcid.org/0000-0002-7461-9168)

**Літвінов Олексій Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0003-0009-5129](http://orcid.org/0000-0003-0009-5129)