

А.І.Бондаренко, М.П.Холодов, Є.С.Пелипенко, В.В.Кучков
Національний технічний інститут "Харківський політехнічний інститут
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ КОЛІСНИХ
ТРАКТОРІВ З МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

В роботі наведена методика експериментального дослідження впливу законів натиснення на педаль гальма при русі з усіма та одним ведучим мостом дорогами з різним коефіцієнтом зчеплення, та варійованою силою тяги на яку на керованість та гальмівну ефективність тракторів ХТА-200 «Слобожанець», Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrotрон X720, описано принцип дії приладів та апаратури, що використовувалися при випробуваннях. Основними з яких є мобільний вимірювальний комплекс, що розроблений кафедрою технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, та електронний динамометр. Описано принцип дії програми для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра.

Ключові слова: колісний трактор, гальмування, механічна трансмісія, експериментальне дослідження, прискорення.

Рис. 10. Літ. 11

А.И.Бондаренко, М.П.Холодов, Е.С.Пелипенко, В.В.Кучков,
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ
КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

В работе приведена методика экспериментального исследования влияния законов нажатия на педаль тормоза при движении со всеми и одним ведущим мостом дорогами с разным коэффициентом сцепления, и варьируемой силой тяги на крюке на управляемость и тормозную эффективность тракторов ХТА-200 «Слобожанец», Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrotрон X720, описан принцип действия приборов и аппаратуры, которые использовались при испытаниях. Основными из которых являются мобильный измерительный комплекс, разработанный кафедрой технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, и электронный динамометр. Описан принцип действия программы для визуализации полученных результатов с электронного динамометра.

Ключевые слова: колесный трактор, торможение, механическая трансмиссия, экспериментальное исследование, ускорение.

A.Bondarenko, M.Holodov, E.Pelipenko, V.Kychkov
EXPERIMENTAL RESEARCH OF PROCESS OF BRAKING OF THE WHEELED
TRACTORS WITH MECHANICAL TRANSMISSION

In work the resulted method of experimental research of influencing of laws of pressure on the pedal of brake at motion with all and one anchorman by a bridge by roads with a different coefficient of rolling friction, and varied tractive force, on a hook on dirigibility and brake efficiency of tractors of XTA-200 «Sloboganets», Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrotрон X720, principle of action of devices and apparatus, which were used for the tests, is described. From which a mobile measuring complex that is developed by the department of technology of machine building and repair of machines of the Kharkiv national automobile and highway university, and electronic dynamometer, is basic. Principle of action of the program is described for visualization of the got results from an electronic dynamometer.

In work principle of determination is described in detail: braking distance and maximal deviation from the set trajectory of tractors of XTA-200 «Sloboganets», Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrotрон X720 at braking with all and one anchorman by a bridge on the varied ranges of transmission on the roads with a different coefficient of rolling friction (dry asphalt, wet asphalt, snow), from maximally possible speed in the set external environments, with a subsequent step 10 km/hour in the side of diminishing, with force traction on a hook from 0 kN with a subsequent step 10 kN in the side of increase to the maximally possible value at the varied laws of pressure on the pedal of brake, and also determination of dependence of braking distance and maximal deviation from the set trajectory from initial velocity of braking, tractive forces on a hook, amount of anchorwomens of bridges and external environments (dry asphalt, wet asphalt, snow).

Keywords: wheeled tractor, braking, mechanical transmission, experimental research, acceleration.

Постановка проблеми. Результати теоретичного та експериментального дослідження, як правило, відрізняються один від одного. Похибка залежить від припущень, що вводяться при складанні математичних моделей, методики, за якою складається модель, чутливості датчиків, якості аналого-цифрового перетворювача та інших чинників. Більш достовірними, як правило, є результати, які отримані шляхом експериментальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками при проведенні динамічних випробувань широкого поширення набуло використання акселерометрів [1 – 11].

©А.І.Бондаренко, М.П.Холодов, Є.С.Пелипенко, В.В.Кучков

З літератури [5] відомий мобільний вимірювальний комплекс, що розроблений на кафедрі технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ), який дає змогу проводити вимірювання величини поздовжніх, бокових і вертикальних прискорень у процесі випробувань мобільних машин, оцінювати їх аеродинамічні, тягово-швидкісні, гальмівні якості, керованість та стійкість, плавність руху та інше.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою даної роботи є експериментальне дослідження процесу гальмування колісних тракторів з механічною трансмісією при русі з усіма та одним ведучим мостом дорогами з різним коефіцієнтом зчеплення, та варійованою силою тяги на гаку при різноманітних законах натиснення на педаль гальма.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– розробити методику експериментального дослідження процесу гальмування колісних тракторів з механічною трансмісією;

– визначити прилади та апаратуру, що необхідні для випробувань.

Методика експериментального дослідження процесу гальмування

На достовірність результатів випробувань значною мірою впливає методика їх проведення, тобто вибір виду випробувань, оцінних критеріїв, умов і режимів проведення.

Умови проведення випробувань повинні відповідати умовам роботи тракторів при виконанні транспортних та польових робіт.

Об'єктом досліджень виступають трактори ХТА-200 «Слобожанець», Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrottron X720 (рис. 1).



а



б



в

Рис. 1 – Об'єкти досліджень:

а – ХТА-200 «Слобожанець»; б – Case IH Magnum 255; в – Deutz-Fahr Agrottron X720.

Завдання випробувань полягають у визначенні:

– гальмівного шляху S_r та максимального відхилення від заданої траєкторії Δ_{\max} тракторів ХТА-200 «Слобожанець», Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrottron X720 при гальмуванні з усіма

та одним ведучим мостом на різноманітних діапазонах трансмісії на дорогах з різним коефіцієнтом зчеплення (сухий асфальт, мокрий асфальт, сніг), з максимально можливою швидкістю V_{\max} в заданих умовах експлуатації, з подальшим кроком $\Delta V=10$ км/год в бік зменшення до $V=10$ км/год, з силою тяги на гаку від $P_{кр}=0$ кН з подальшим кроком $\Delta P_{кр}=10$ кН в бік збільшення до максимально можливого значення $P_{кр\max}$ при різноманітних законах натиснення на педаль гальма $h=f(t)$ (h – переміщення педалі гальма, t – час за який відбувається дане переміщення);

– залежності гальмівного шляху S_r та максимального відхилення від заданої траєкторії Δ_{\max} від початкової швидкості гальмування V , сили тяги на гаку $P_{кр}$, кількості ведучих мостів та умов експлуатації (сухий асфальт, мокрий асфальт, сніг).

Знаходження гальмівного шляху S_r та максимального відхилення від заданої траєкторії Δ_{\max} відбувається шляхом подвійного інтегрування поздовжніх та бокових прискорень, що допустимо в зв'язку з не значною тривалістю процесу гальмування.

Результати досліджень зводяться до табл. 1. Кожен вимір проводиться 3 рази.

Таблиця 1

Результати досліджень процесу гальмування колісних тракторів

Закон $h=f(t)$	ХТА-200 «Слобожанець»		Case IH Magnum 255		Deutz-Fahr Agrottron X720	
	S_r	Δ_{\max}	S_r	Δ_{\max}	S_r	Δ_{\max}
Ведучих два мости, дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=V_{\max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
...						
Ведучих два мости, дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=V_{\max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=P_{кр\max}$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
...						
Ведучих два мости, дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=10$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
...						
Ведучих два мости, дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=10$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=P_{кр\max}$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
Ведучих два мости, дорожня поверхня – мокрий асфальт						
...						
Ведучих два мости, дорожня поверхня – сніг						
...						
Всі вище наведені операції виконуються для кожного діапазону трансмісії						
...						
Ведучий один міст						
...						

Прилади та апаратура

Схема розташування обладнання на тракторах наведена на рис. 2 та складається з наступних приладів та апаратури:

– для трактора ХТА-200 «Слобожанець» (рис. 2 а): відеокамери; 4-х акселерометрів; ноутбуку;

– для тракторів Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrottron X720 (рис. 2 б): відеокамери; 2-х акселерометрів; 2-х ноутбуків; переривника сигналів; електронного динамометра.

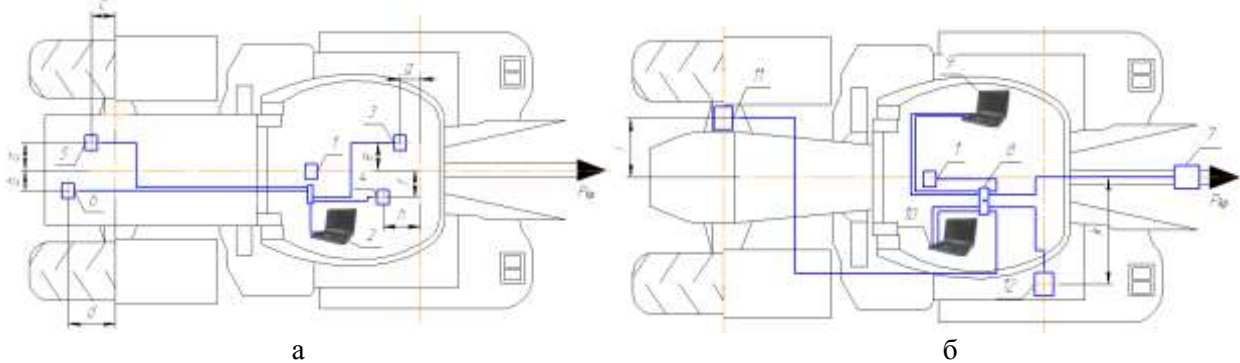


Рис. 2. Схема розташування обладнання на тракторах:

а – ХТА-200 «Слобожанець»; б – Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrottron X720;

1 – відеокамера; 2, 10 – ноутбук для збереження результатів з акселерометрів; 3, 4, 5, 6, 11, 12 – акселерометри; 7 – електронний динамометр; 8 – переривник сигналів; 9 – ноутбук для збереження результатів з відеокамери та електронного динамометра; $a=b=0,375$ м; $c=0,45$ м; $d=0,95$ м; $e=f=0,325$ м; $g=0,15$ м; $h=0,35$ м; $i=0,64$ м, $k=0,56$ м (Case IH Magnum 255); $i=0,58$ м, $k=0,68$ м (Deutz-Fahr Agrottron X720).

Основна функція відеокамери 1 (рис. 2) – фіксація зміни положення педалі гальма протягом процесу гальмування з метою визначення закону $h=f(t)$. При цьому перед процесом гальмування вільний та повний рух педалі гальма кожного трактора вимірювався за допомогою лінійки.

Для визначення поздовжніх і бокових прискорень у процесі гальмування трактора ХТА-200 «Слобожанець» використовувався мобільний вимірювальний комплекс (рис. 3), розроблений кафедрою технології машинобудування і ремонту машин ХНАДУ [4], який складається з акселерометрів Freescale Semiconductor модель MMA7260QT (поз. 3 – 6, рис. 2 а), ноутбука 2 для обробки та зберігання даних, отриманих в процесі проведення експерименту.



Рис. 3. Мобільний вимірювальний комплекс, розроблений кафедрою технології машинобудування і ремонту машин ХНАДУ: 1, 2 – акселерометри; 3 – ноутбук

Акселерометри MMA7260QT, що використовуються в комплексі, – ємнісні з трьома робочими осями і межею вимірювання $\pm 1,5g$, мають максимальну похибку 1%.

У процесі підготовки до проведення експерименту акселерометри встановлювалися за схемою, яка наведена на рис. 2 а. Після встановлення і налаштування мобільного вимірювального комплексу (рис. 4), проводилося експериментальне дослідження процесу гальмування колісного

©А.І.Бондаренко, М.П.Холодов, Є.С.Пелипенко, В.В.Кучков

трактора ХТА-200 «Слобожанець» за методикою, що була наведена вище. В результаті для різних законів натиснення на педаль гальма при русі з усіма та одним ведучим мостом дорогами з різним коефіцієнтом зчеплення та варійованою силою тяги на гаку визначалися поздовжні та бокові прискорення.

При дослідженні процесу гальмування трактора ХТА-200 «Слобожанець» електронний динамометр 7 (рис. 2 б) та переривник сигналів 8 не використовувалися. Сила тяги на гаку визначалася виходячи з параметрів причепів та їх завантаженості.

Для зберігання та обробки результатів, отриманих при дослідженні процесу гальмування тракторів Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrotion X720 з електронного динамометра 7 (рис. 2 б) та відеокамери 1, користувалися ноутбуком 9, а з акселерометрів 11, 12 – ноутбуком 10.

Використання електронного динамометра 7 (рис. 2 б) дозволяє визначати силу тяги на гаку в діапазоні 100 – 5000 кг, максимальна похибка не перевищує $\pm 0,2\%$. Сигнал з електронного динамометра (рис. 5) в кг з періодичністю 0,2 с. в цифровому вигляді подавався на ноутбук 9 (рис. 2 б) та відображався в спеціально розробленій програмі, інтерфейс якої зображено на рис. 6.



Рис. 4. Встановлення і налаштування мобільного вимірювального комплексу на тракторі ХТА-200 «Слобожанець»



Рис. 5. Електронний динамометр

Інтерфейс програми (рис. 6) складається з чотирьох кнопок керування: “Старт”, “Стоп”, “Очистить”, “Выход” та одного вікна – “Сила тяги на крюке”.

Початок реєстрації результатів починається після запуску файлу програми “ComServer.exe” (рис. 7) та натисненні на кнопку “Старт”, зупинка – при натисненні на кнопку “Стоп” (рис. 6). Проміжок часу, протягом якого відбувається дослідження, відображається у вікні “Параметры” під надписом “Время” та вимірюється в секундах. Масштаб відображення отриманих результатів задається у вікні “Параметры” (рис. 6) – “Масштаб”.

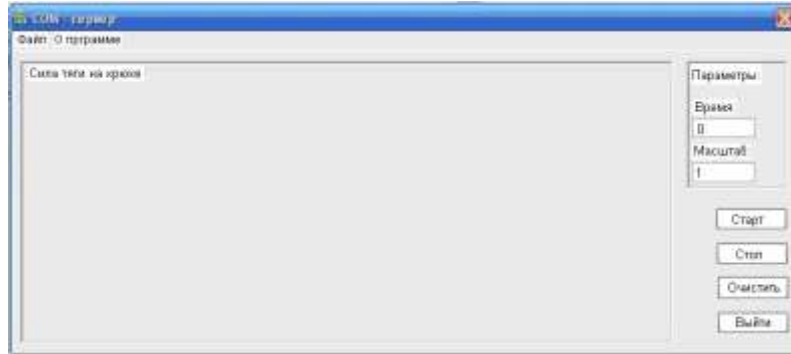


Рис. 6. Інтерфейс програми для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра

SerialGate	dll
ComServer	exe
ComServer	exp
ComServer	ilk
ComServer	lib
ComServer	pdb
data	txt

Рис. 7. Запуск програми для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра

Візуально зміну сили тяги на гаку від часу протягом дослідження можна спостерігати у вікні “Сила тяги на крюке”. Ліквідація отриманих результатів з даного вікна здійснюється при натисненні на кнопку “Очистить”. Для виходу з програми достатньо скористатися відповідною кнопкою програми – “Выход”. Зберігання результатів випробування автоматично відбувається в текстовому файлі “data.txt” (рис. 7) в два стовпчика: правий – час в секундах, лівий – значення сили тяги на гаку в кг.

Для визначення поздовжніх і бокових прискорень у процесі гальмування тракторів Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrottron X720 використовувалися акселерометри, зібрані на базі Freescale моделі MMA7341L та MMA7361L з трьома робочими осями і межею вимірювання $\pm 1,5g$ та максимальною похибкою 1%. Акселерометр MMA7341L розміщувався на передньому мості тракторів, а MMA7361L на задньому (рис. 8) згідно схеми, наведеної на рис. 2 б.

Візуалізація та зберігання даних, отриманих з акселерометрів MMA7341L та MMA7361L, відбувалося за рахунок спеціально розробленої програми, інтерфейс якої зображено на рис. 9. Дана програма практично аналогічна за принципом дії з програмою, написаною для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра.

Інтерфейс програми (рис. 9) складається з чотирьох кнопок керування: “Старт”, “Стоп”, “Очистить”, “Выход” та двох вікон – “Ускорение 1” та “Ускорение 2”. Візуально зміну поздовжніх і бокових прискорень у процесі гальмування тракторів з акселерометра MMA7341L можна спостерігати у вікні “Ускорение 1”, а з акселерометра MMA7361L у вікні “Ускорение 2”.

Масштаб відображення отриманих результатів з акселерометра MMA7341L задається у вікні “Параметры” (рис. 9) – “Масштаб 1”, а з акселерометра MMA7361L – “Масштаб 2”.

Зберігання результатів випробування автоматично відбувається в текстових файлах “data1.txt” та “data2.txt” в три стовпчика: перший – час в секундах, другий – значення поздовжніх прискорень в m/s^2 , третій – значення бокових прискорень в m/s^2 .

В зв'язку з тим, що параметрів ноутбуку 9 (рис. 2 б) не достатньо для обробки результатів одночасно з відеокамери 1, електронного динамометра 7 та акселерометрів 11, 12, змушені були використовувати додатково ще один ноутбук 10, а для синхронізації сигналів при дослідженні динаміки гальмування тракторів Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrottron X720 – переривник сигналів 8. Одночасно запустити програми для візуалізації результатів дослідження електронного динамометра 7 та акселерометрів 11, 12 на різних ноутбуках достатньо складно. Тому переривник (рис. 10) пропускає лише нульові сигнали на ноутбуки після натиснення клавіш "Старт" в програмах (рис. 6, 9), а в момент початку досліджень, при натисненні на червону кнопку переривника сигналів (рис. 10), на ноутбуки 9, 10 (рис. 2 б) починають надходити вже реальні значення від електронного динамометра 7, відеокамери 1 та акселерометрів 11, 12, а не нульові. Саме завдяки цьому, в процесі обробки результатів можна визначити в конкретний час якій силі тязі на гаку відповідає яке значення прискорень з акселерометрів.

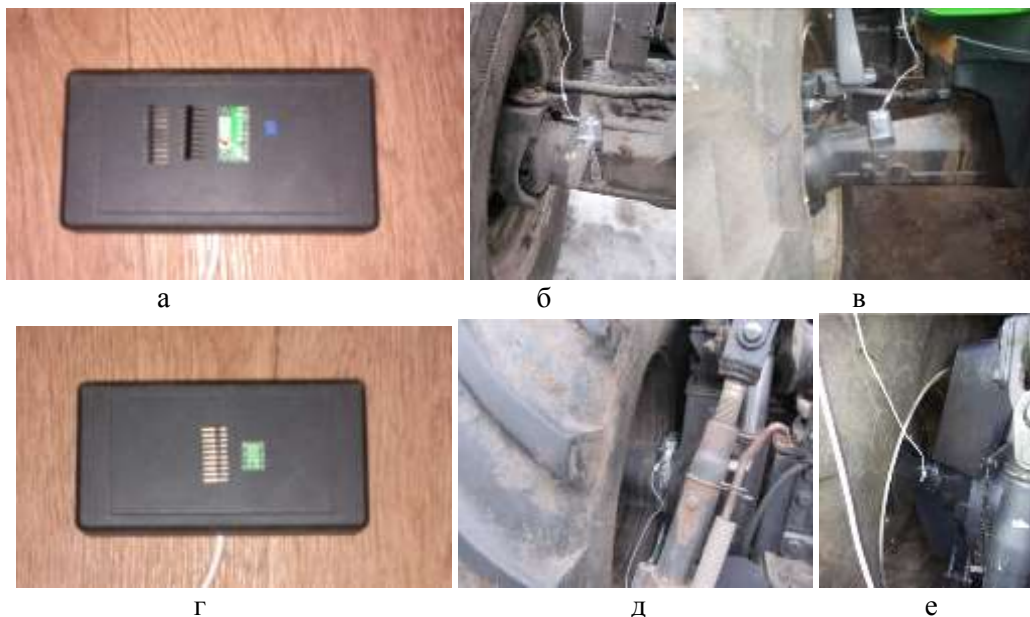


Рис. 8. Встановлення акселерометрів на тракторах Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrottron X720:

а – загальний вигляд акселерометра MMA7341L; б – розміщення акселерометра MMA7341L на передньому мості трактора Case IH Magnum 255; в – розміщення акселерометра MMA7341L на передньому мості трактора Deutz-Fahr Agrottron X720; г – загальний вигляд акселерометра MMA7361L; д – розміщення акселерометра MMA7361L на задньому мості трактора Case IH Magnum 255; е – розміщення акселерометра MMA7361L на задньому мості трактора Deutz-Fahr Agrottron X720.



Рис. 9. Інтерфейс програми для візуалізації отриманих результатів з акселерометрів MMA7341L та MMA7361L

©А.І.Бондаренко, М.П.Холодов, Є.С.Пелипенко, В.В.Кучков



Рис. 10. Переривник сигналів

Висновки. В роботі наведена методика експериментального дослідження впливу законів натиснення на педаль гальма при русі з усіма та одним ведучим мостом дорогами з різним коефіцієнтом зчеплення, та варійованою силою тяги на гаку на керованість та гальмівну ефективність тракторів ХТА-200 «Слобожанець», Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrottron X720, описано принцип дії приладів та апаратури, що використовувалися при випробуваннях.

1. Артьомов М.П. Дослідження динаміки машинно-тракторних агрегатів за допомогою методу парціальних прискорень / М.П. Артьомов // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2012. – № 2(32) Т.1 – С. 3 – 12.
2. Артьомов М.П. Динамічні випробування датчиків прискорень на лабораторному вібростенді / М.П. Артьомов, Д.М. Клец // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». – 2012. – № 2 (66) – С. 5 – 9.
3. Гаврилов Э.В. Принципы работы мобильных вычислительных комплексов / Э.В. Гаврилов, О.П. Алексеев, О.П. Смирнов // Информационные технологии. – Харьков, 1999. – С. 139 – 141.
4. Клец Д.М. Определение угла продольного наклона автомобиля при проведении динамических испытаний / Д.М. Клец // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – 2011. – № 18. – С. 24 – 29. .
5. Клец Д.М. Разработка мобильного регистрационно-измерительного комплекса для проведения динамических испытаний колесных машин / Д.М. Клец // Вісник Національного транспортного університету. – 2012. – № 25. – С. 234 – 241.
6. Лебедев А.Т. Оценка управляемости мобильных машин методом парциальных ускорений / А.Т. Лебедев, Н.П. Артёмов, А.В. Кот, М.А. Подригало // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, Т. 7. – С. 65–72.
7. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / [Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев и др.]; под ред. М. А. Подригало. – Х. : Изд-во «Міськдрук», 2012. – 220 с.
8. Подригало М.А. Визначення необхідної кількості акселерометрів і місця їх установки при динамічних випробуваннях мобільних машин / М.А. Подригало, М.П. Артьомов, Д.М. Клец, А.І. Коробко // Механіка та машинобудування. – 2012. – № 2. – С. 127 – 135.
9. Подригало М. Застосування методу паралельних спостережень при випробуваннях автомобілів / [М. Подригало, О. Полянський, Д. Клец, А. Коробко, А. Мостова] // Вісник Тернопільського національного технічного університету. Науковий журнал. – 2011. – Том 16. – №1. – С. 57 – 62.
10. Сысоева С. Автомобильные акселерометры / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2005. – № 8. – С. 12 – 18.
11. Шевцов С.М. Измерительные преобразователи вибрационных процессов / С.М. Шевцов, С.П. Ереско // Вестник БрГУ «Системы. Методы. Технологии». – 2012. – Вып. 3 (7). – С. 42-49.

Стаття надійшла до редакції 13.04.2014