

А. І. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, докторант НТУ «ХПІ»;
Є. С. ПЕЛИПЕНКО, аспірант НТУ «ХПІ»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА FENDT 936 VARIO

В роботі наведена методика експериментального дослідження впливу законів натиснення на педаль гальма та керування джойстиком при русі з усіма та одним ведучим мостом дорогами з різним коефіцієнтом зчеплення, та варійованою силою тяги на гаку на керованість та гальмівну ефективність трактора з гідрооб'ємно-механічною трансмісією Fendt 936 Varío, 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, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, експериментальне дослідження.

Вступ. Характерною особливістю ринків розвинених європейських країн є постійне зменшення пропозицій тракторів, обладнаних механічними ступінчастими коробками передач і збільшення з безступінчастими (в 2007 р. тракторів з безступінчастими трансмісіями пропонувалося 16,5%, а в 2013 р. – 25,9%).

Популярність безступінчастих трансмісій безперервно росте, що стає очевидним з постійного збільшення об'ємів виробництва тракторів фірми «Fendt», яка є піонером в створенні гідрооб'ємно-механічних трансмісій (ГОМТ) в тракторобудуванні і на сьогоднішній день повністю перейшла на виробництво тракторів саме з ГОМТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання акселерометрів в процесі експериментальних досліджень обумовлене можливістю визначення величини поздовжніх, бокових і вертикальних прискорень транспортних засобів, оцінці їх аеродинамічних, тягово-швидкісних, гальмівних якостей, керованості та стійкості, плавності руху та інше [1 – 5].

Саме завдяки мобільному вимірювальному комплексу, розробленому кафедрою технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) [4], можна визначити експериментальним шляхом вплив законів натиснення на педаль гальма та керування джойстиком на керованість та гальмівну ефективність колісних тракторів з ГОМТ.

Питання дослідження процесу гальмування колісних тракторів з ГОМТ є на даний момент актуальним, саме тому, що існують прецеденти, коли

оператори-водії цих тракторів травмувалися в процесі гальмування, причому це не поодинокі випадки. У публікаціях майже вся увага приділяється розробці раціональних схем ГОМТ для тракторів різних класів та призначення або ж дослідженню динаміки розгону тракторів з ГОМТ [6 – 9] при повній відсутності інформації про взаємодію ГОМТ з гальмівною системою.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою даної роботи є експериментальне дослідження процесу гальмування колісного трактора Fendt 936 Varіо з ГОМТ 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 та керування джойстиком (при різних ступенях уповільнення – I, II, III, IV).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– розробити методику експериментального дослідження процесу гальмування колісного трактора з ГОМТ;

– визначити прилади та апаратуру, що необхідні для випробувань.

Методика експериментального дослідження процесу гальмування

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

Об'єктом досліджень виступає трактор Fendt 936 Varіо (рис. 1).



Рис. 1 – Трактор Fendt 936 Varіо

Завдання випробувань полягають у визначенні:

– гальмівного шляху S_r та максимального відхилення від заданої траєкторії Δ_{max} трактора при гальмуванні з усіма та одним ведучим мостом на тяговому та транспортному 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 $P_{крmax}$ при різноманітних законах натиснення на педаль гальма $h_r=f(t_r)$ (h_r – переміщення педалі гальма, t_r – час за який відбувається дане переміщення) та керування джойстиком $h_d=f(t_d)$ (h_d – переміщення джойстика, t_d – 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. Перший раз табл. 1 заповнюється, коли розглядається гальмування шляхом натиснення тільки на педаль гальма, тобто замість $h=f(t)$ підставляється $h_r=f(t_r)$. Другий раз, – коли досліджуємо процес гальмування шляхом керування джойстиком при різних ступенях уповільнення (I, II, III, IV) [10], в цьому випадку замість $h=f(t)$ підставляємо $h_d=f(t_d)$. Кожен вимір проводиться 3 рази.

Прилади та апаратура

Схема розташування обладнання на тракторі наведена на рис. 2 та складається з наступних приладів та апаратури: відеокамери; 2-х акселерометрів; 2-х ноутбуків; електронного динамометра.

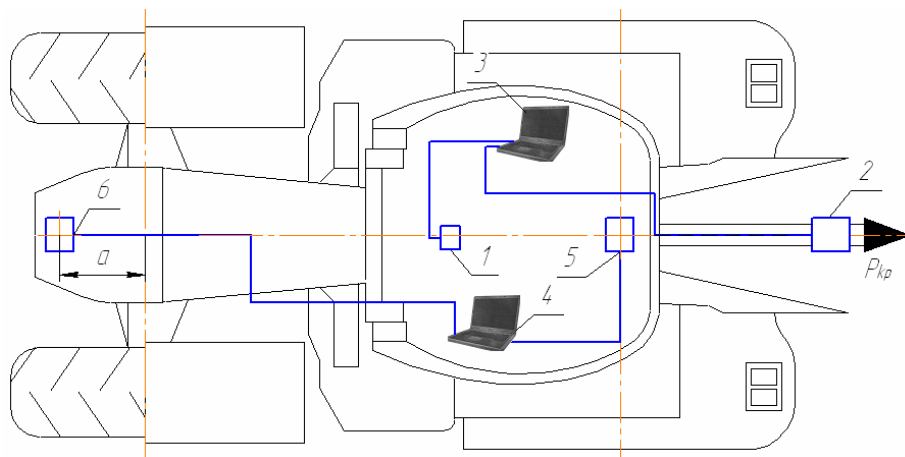


Рис. 2 – Схема розташування обладнання на тракторі Fendt 936 Vario:

1 – відеокамера; 2 – електронний динамометр; 3 – ноутбук для збереження результатів з відеокамери та електронного динамометра; 4 – ноутбук для збереження результатів з акселерометрів; 5, 6 – акселерометри; $a=0,75$ м.

Основна функція відеокамери 1 (рис. 2) – фіксація зміни положення педалі гальма та джойстика протягом процесу гальмування з метою

визначення законів $h_r=f(t_r)$ та $h_d=f(t_d)$, а також ступеня уповільнення. При цьому перед процесом гальмування вільний та повний рух педалі гальма трактора вимірювався за допомогою лінійки.

Таблиця 1 – Результати досліджень процесу гальмування Fendt 936 Vario

Закони $h=f(t)$	Тяговий діапазон				Транспортний діапазон	
	Ведучих два мости		Ведучий задній міст		Ведучий задній міст	
	S_r	Δ_{max}	S_r	Δ_{max}	S_r	Δ_{max}
Дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
...						
Дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=P_{крmax}$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
...						
Дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=10$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
...						
Дорожня поверхня – сухий асфальт, гальмування зі швидкості $V=10$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=P_{крmax}$ кН						
$h_1=f(t_1)$						
...						
$h_n=f(t_n)$						
Дорожня поверхня – мокрий асфальт						
...						
Дорожня поверхня – сніг						
...						

Для визначення поздовжніх і бокових прискорень у процесі гальмування трактора Fendt 936 Vario використовувався мобільний вимірювальний комплекс (рис. 3), розроблений кафедрою технології машинобудування і ремонту машин ХНАДУ [4], який складається з акселерометрів Freescale Semiconductor модель MMA7260QT (поз. 5, 6, рис. 2), ноутбука 4 для обробки та зберігання даних, отриманих в процесі проведення експерименту.

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

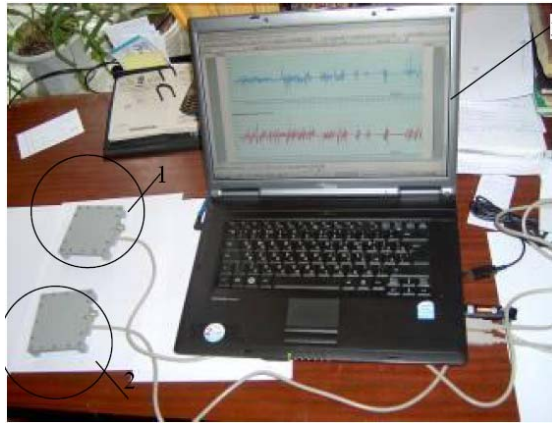


Рис. 3 – Мобільний вимірювальний комплекс, розроблений кафедрою технології машинобудування і ремонту машин ХНАДУ:
1, 2 – акселерометри; 3 – ноутбук.

У процесі підготовки до проведення експерименту акселерометри встановлювалися за схемою, яка наведена на рис. 2. Після встановлення і налаштування мобільного вимірювального комплексу (рис. 4), проводилося експериментальне дослідження процесу гальмування колісного трактора Fendt 936 Varіo за методикою, що була наведена вище. В результаті для різних законів натиснення на педаль гальма та керування джойстиком при русі з усіма та одним ведучим мостом дорогами з різним коефіцієнтом зчеплення та варійованою силою тяги на гаку визначалися поздовжні та бокові прискорення.



Рис. 4 – Встановлення і налаштування мобільного вимірювального комплексу на тракторі Fendt 936 Varіo

Для зберігання та обробки результатів, отриманих при дослідженні процесу гальмування трактора Fendt 936 Varіo з електронного динамометра 2 (рис. 2) та відеокамери 1, користувалися ноутбуком 3.

Використання електронного динамометра 2 (рис. 2) 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 3 (рис. 2) та відображався в спеціально розробленій програмі, інтерфейс якої зображено на рис. 6.



Рис. 5 – Електронний динамометр

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

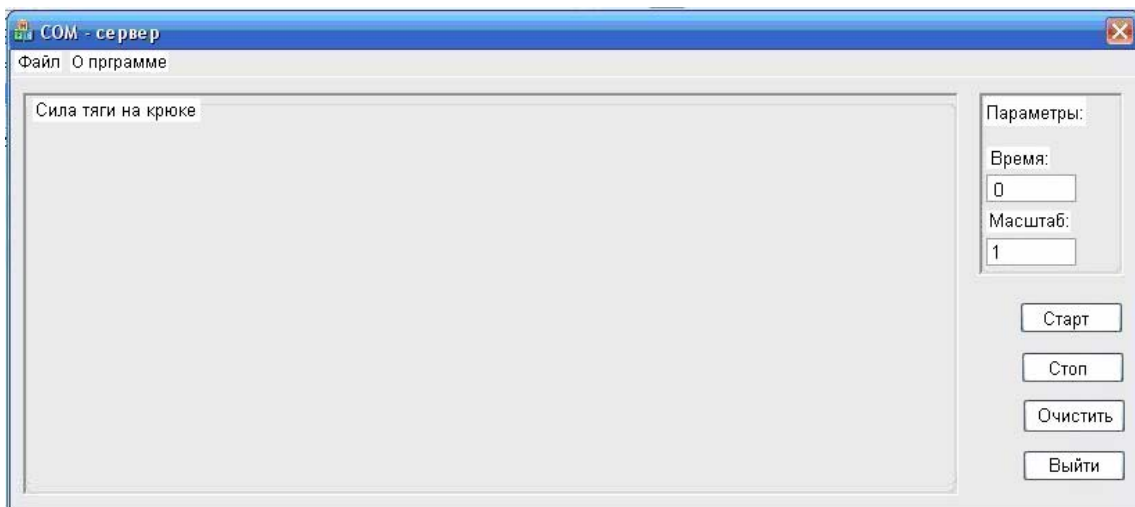
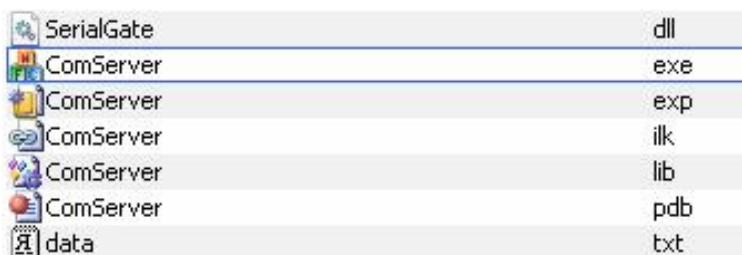


Рис. 6 – Інтерфейс програми для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра

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”.

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.



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

Висновки. В роботі наведена методика експериментального дослідження впливу законів натиснення на педаль гальма та керування джойстиком при русі з усіма та одним ведучим мостом дорогами з різним коефіцієнтом зчеплення, та варійованою силою тяги на гаку на керованість та гальмівну ефективність трактора Fendt 936 Vario, описано принцип дії приладів та апаратури, що використовувалися при випробуваннях.

Список літератури: 1. 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. 2. Артёмов М. П. Дослідження динаміки машинно-тракторних агрегатів за допомогою методу парціальних прискорень / М. П. Артёмов // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2012. – № 2(32) Т.1 – С. 3 – 12. 3. Подригало М. А. Визначення необхідної кількості акселерометрів і місця їх установки при динамічних випробуваннях мобільних машин / М. А. Подригало, М. П. Артёмов, Д. М. Клец, А. І. Коробко // Механіка та машинобудування. – 2012. – № 2. – С. 127 – 135. 4. 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. 5. Клец Д. М. Применение акселерометров в качестве элементов контрольно-измерительной системы автомобиля / Д. М. Клец // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – 2012. – № 9 (180) – Ч.1. – С. 224 – 230. 6. Самородов В. Б. Методика определения оптимальной схемы для бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссии трактора с использованием весовых коэффициентов критериев оценки / В. Б. Самородов, С. А. Шуба // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Автомобиле- и тракторостроение. – 2010. – № 33. – С. 22 – 27. 7. Самородов В. Б. Аналіз безступінчастих двопотокових гідрооб’ємно-механічних тракторних трансмісій: вибір і обґрунтування перспективних схем / В. Б. Самородов, О. В. Григоров, А. І. Бондаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний выпуск:

Транспортне машинобудування. – 2012. – № 20. – С. 24 – 46. **8.** *Самородов В. Б.* Синтез безступінчастих двопотокових гідрооб'ємно-механічних тракторних трансмісій / *В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко, Д. А. Подмолода* // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. – 2013. – № 135. – С. 140–150. **9.** *Самородов В. Б.* Обоснование оптимальных конструктивных параметров бесступенчатой трансмиссии трактора / *В. Б. Самородов, А. В. Рогов* // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Автомобиле- и тракторостроение. – 2010. – № 1. – С. 8 – 14. **10.** www.profi-mediacenter.com/eastspecial.html.

Bibliography (transliterated): **1.** *Klec D. M.* Opredelenie ugla prodol'nogo naklona avtomobilja pri provedenii dinamicheskikh ispytanij. Visnik NTU «HPI». Serija: Transportne mashinobuduvannja. – 2011. – № 18. **2.** *Artomov M. P.* Doslidzhennja dinamiki mashinno-traktornih agregativ za dopomogoj metodu parcial'nih priskoren. Zbirnik naukovih prac. (galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo). – 2012. – № 2(32) Т.1. **3.** *Podrigalo M. A.* Vznachennja neobhidnoї kilkosti akselerometriv i miscja ih ustanovki pri dinamichnih viprobuvannjah mobilnih mashin. Mehanika ta mashinobuduvannja. – 2012. – № 2. **4.** *Klec D. M.* Razrabotka mobilnogo registracionno-izmeritelnogo kompleksa dlja provedenija dinamicheskikh ispytanij kolesnyh mashin. Visnik Nacionalnogo transportnogo universitetu. – 2012. – № 25. **5.** *Klec D. M.* Primenenie akselerometrov v kachestve jelementov kontrolno-izmeritelnoj sistemy avtomobilja. Visnik SNU im. Volodimira Dalja. – 2012. – № 9 (180) – Ch.1. **6.** *Samorodov V. B.* Metodika opredelenija optimalnoj shemy dlja besstupenchatoj gidroobemno-mehanicheskoy transmissii traktora s ispolzovaniem vesovyh koeficientov kriteriev ocenki. Vestnik NTU «HPI». Tematicheskij vypusk: Avtomobile- i traktorostroenie. – 2010. – № 33. **7.** *Samorodov V. B.* Analiz bezstupinchastih dvopotokovih gidroobemno-mehanichnih traktornih transmissij: vibir i obruntuvannja perspektivnih shem. Visnik NTU «HPI». Tematichnij vipusk: Transportne mashinobuduvannja. – 2012. – № 20. **8.** *Samorodov V. B.* Sintez bezstupinchastih dvopotokovih gidroobemno-mehanichnih traktornih transmissij. Visnik HNTUSG im. Petra Vasilenka. Mehanizacija silskogospodarskogo virobnictva. – 2013. – № 135. **9.** *Samorodov V. B.* Obosnovanie optimalnyh konstruktivnyh parametrov besstupenchatoj transmissii traktora. Vestnik NTU «HPI». Tematicheskij vypusk: Avtomobile- i traktorostroenie. – 2010. – № 1. **10.** www.profi-mediacenter.com/eastspecial.html.

Надійшла (received) 01.04.2014