

УДК 629.4.075

**В. Б. САМОРОДОВ**, д-р. техн. наук, професор НТУ «ХП»;  
**А. І. БОНДАРЕНКО**, канд. техн. наук, докторант НТУ «ХП»;  
**А. П. КОЖУШКО**, аспірант НТУ «ХП»;  
**М. О. МІТЦЕЛЬ**, аспірант НТУ «ХП»

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗГОНУ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА FENDT 936 VARIO**

В роботі наведена методика експериментального дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Varіo з безступінчастою гідрооб'ємно-механічною трансмісією, описано принцип дії приладів та апаратури, що використовувалися при випробуваннях. Досліджено вплив прискорення трактора при русі з усіма ведучими мостами при виконанні польових робіт, усіма і одним ведучим мостом при виконанні транспортних робіт, та варійованою силою тяги на гаку на буксування коліс трактора Fendt 936 Varіo.

**Ключові слова:** колісний трактор, розгін, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, експериментальне дослідження.

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

Найпотужнішими в лінійці сімейства Fendt є серії 800 та 900, які являються лідерами продажу в Західній та Центральній Європі в класі більше 200 к.с. та займають більш ніж 30% ринку за результатами 2013 р.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З літератури відомо ряд публікацій [1 – 3], присвячених: систематизації основних закономірностей розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ; вибору та аналізу перспективних схем ГОМТ; дослідженню впливу схеми з'єднання механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму, місця розташування редукторів в механічній та гідравлічній гілці, наявності регульованого та нерегульованого гідромотора, об'ємів гідронасоса та гідромотора на кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ. Проте на даний момент мало вивчене питання динаміки процесу розгону колісних тракторів з ГОМТ, зокрема вплив варіанту розгону на процес буксування.

Вченими кафедри технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) розроблений мобільний вимірювальний комплекс, 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 [4 – 7].

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою даної роботи є експериментальне дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Varіo з ГОМТ при русі з усіма та одним ведучим мостом, та варійованою силою тяги на гаку при різноманітних варіантах розгону.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити методику експериментального дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Varіo;
- визначити прилади та апаратуру, що необхідні для випробувань.

### Методика експериментального дослідження процесу розгону.

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

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



Рисунок 1 – Трактор Fendt 936 Vario

Можливі наступні варіанти розгону трактора Fendt 936 Vario [8]:

1. За допомогою джойстика та системи Tractor-Management-System (TMS), принцип роботи якої полягає в узгодженні роботи двигуна та ГОМТ. В цьому випадку завдяки джойстику задається один з чотирьох ступенів прискорення (рис. 2), а необхідне число обертів двигуна трактора підбирається автоматично. Цей варіант розгону рекомендується використовувати для польових робіт, при цьому необхідно обирати I або II ступені прискорення. Для початку руху трактора джойстик необхідно нахилити вперед, а для утримання швидкості необхідно активувати функцію темпомата – нахиливши джойстик вправо.

2. За допомогою джойстика та педалі акселератора. Завдяки джойстику обирається ступінь прискорення, а педаллю акселератора контролюється розгін трактора. Число обертів двигуна трактора підбирається самостійно відповідно швидкості. Такий варіант розгону необхідно використовувати для транспортних робіт та задавати III або IV ступені прискорення.

Хотілося б зазначити, що вище наведені не всі, а основні варіанти розгону трактора. Загальна їх кількість значно більша. Кількість використовуваних варіантів при експлуатації трактора залежить від кваліфікації оператора-водія. Відповідно, на динаміку розгону не завжди впливає закон натиснення на педаль акселерометра або джойстика, а в більшій мірі повздовжнє прискорення  $j$  трактора. Тобто, основний акцент при дослідженнях необхідно робити на вплив повздовжнього прискорення  $j$  трактора на динаміку його розгону, а точніше на буксування коліс.

Завдання випробувань полягають у визначенні:

– повздовжнього прискорення  $j$  трактора і буксування коліс переднього  $\delta_1$  та заднього  $\delta_2$  мостів при виконанні польових робіт, та розгоні спочатку до швидкості  $V=5$  км/год з подальшим кроком  $\Delta V=5$  км/год в бік збільшення до максимально можливої швидкості  $V_{\max}$  в даних умовах експлуатації, з силою тяги на гаку від  $P_{\text{кр}}=0$  кН з подальшим кроком  $\Delta P_{\text{кр}}=10$  кН в бік збільшення до максимально можливого значення  $P_{\text{крmax}}$ , при різних ступенях прискорення в процесі розгону (I або II ступінь);

– повздовжнього прискорення  $j$  трактора і буксування коліс переднього  $\delta_1$  та заднього  $\delta_2$  мостів при виконанні транспортних робіт (сухий асфальт, мокрий асфальт, сніг), та розгоні спочатку до швидкості  $V=10$  км/год з подальшим кроком  $\Delta V=10$  км/год в бік збільшення до максимально можливої швидкості  $V_{\max}$  в даних умовах експлуатації, з силою тяги на гаку  $P_{\text{кр}}=0$  кН з подальшим кроком  $\Delta P_{\text{кр}}=10$  кН в бік збільшення до максимально можливого значення  $P_{\text{крmax}}$ , при різних ступенях прискорення в процесі розгону (III або IV ступінь) та різноманітних законах

натиснення на педаль акселератора  $h_a=f(t_a)$  ( $h_a$  – переміщення педалі акселератора,  $t_a$  – час за який відбувається дане переміщення);

– залежності буксування коліс від повздовжнього прискорення  $j$  трактора, швидкості  $V$ , сили тяги на гаку  $P_{кр}$ , кількості ведучих мостів та умов експлуатації (сухий асфальт, мокрий асфальт, сніг).



Рисунок 2 – Багатофункціональний пульт керування на консолі підлокітника:  
1 – кнопка обирання ступенів прискорення на джойстику; 2 – кнопка обирання діапазонів

Результати досліджень при виконанні польових робіт зводяться до табл. 1, варіант розгону при цьому №1. Результати досліджень при виконанні транспортних робіт зводяться до табл. 2, варіант розгону – №2. Кожен вимір проводиться 3 рази.

Таблиця 1 – Результати досліджень розгону трактора Fendt 936 Varіо при виконанні польових робіт з двома ведучими мостами (варіант процесу розгону №1)

Ступінь прискорення	$V$	$j$	$\delta_1$	$\delta_2$
Розгін від $V=0$ км/год до $V=5$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН				
I				
II				
Розгін від $V=0$ км/год до $V=5$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=10$ кН				
I				
II				
...				
Розгін від $V=0$ км/год до $V=5$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=P_{крmax}$ кН				
I				
II				
Розгін від $V=0$ км/год до $V=10$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН				
I				
II				
Розгін від $V=0$ км/год до $V=10$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=10$ кН				
I				
II				
...				
Розгін від $V=0$ км/год до $V=10$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=P_{крmax}$ кН				
I				
II				
...				
Розгін від $V=0$ км/год до $V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН				
I				
II				
Розгін від $V=0$ км/год до $V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=10$ кН				
I				
II				
...				
Розгін від $V=0$ км/год до $V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=P_{крmax}$ кН				
I				
II				

## ТРАКТОРОБУДУВАННЯ

Таблиця 2 – Результати досліджень розгону трактора Fendt 936 Varіo при виконанні транспортних робіт (варіант процесу розгону №2)

Ступінь прискорення	Закон $h_a=f(t_a)$	Ведучих два мости				Ведучий задній міст		
		V	j	$\delta_1$	$\delta_2$	V	j	$\delta_2$
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до V=10 км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до V=20 км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
...								
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до $V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=0$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до V=10 км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=10$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до V=20 км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=10$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
...								
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до $V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр}=10$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до V=10 км/год, сила тяги на гаку $P_{кр max}$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до V=20 км/год, сила тяги на гаку $P_{кр max}$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
...								
Дорожня поверхня – сухий асфальт, розгін від V=0 км/год до $V_{max}$ км/год, сила тяги на гаку $P_{кр max}$ кН								
III	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
III	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
IV	$h_{a1}=f(t_{a1})$							
IV	$h_{a2}=f(t_{a2})$							
Дорожня поверхня – мокрий асфальт								
...								
Дорожня поверхня – сніг								
...								

**Прилади та апаратура.**

Схема розташування обладнання на тракторі наведена на рис. 3 та складається з наступних приладів та апаратури: відеокамери; GPS-навігатора; 2-х акселерометрів; 2-х датчиків частоти обертання коліс; 2-х ноутбуків; електронного динамометра.

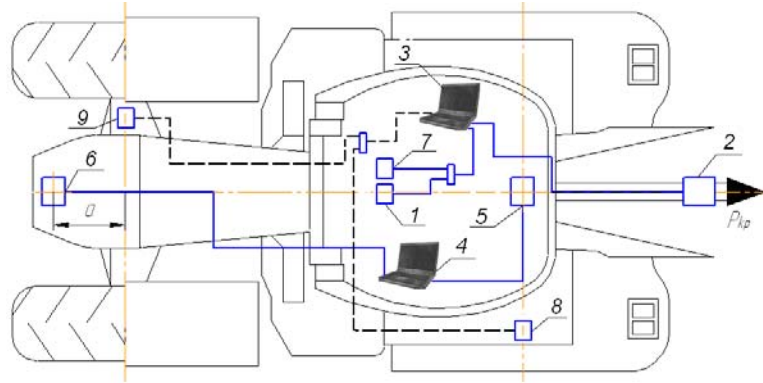


Рисунок 3 – Схема розташування обладнання на тракторі Fendt 936 Varіo:  
 1 – відеокамера; 2 – електронний динамометр; 3 – ноутбук для збереження результатів з відеокамери, GPS-навігатора, датчиків частоти обертання коліс та електронного динамометра; 4 – ноутбук для збереження результатів з акселерометрів; 5, 6 – акселерометри; 7 – GPS-навігатор; 8, 9 – датчики частоти обертання коліс;  $a=0,75$  м

Основна функція відеокамери 1 (рис. 3) – фіксація зміни положення педалі акселератора з метою визначення законів  $h_a=f(t_a)$  та ступеня прискорення джойстика протягом процесу розгону. При цьому перед процесом розгону вільний та повний рух педалі акселератора трактора вимірювався за допомогою лінійки.

Для визначення поздовжніх прискорень у процесі розгону трактора Fendt 936 Varіo використовувався мобільний вимірювальний комплекс (рис. 4), розроблений кафедрою технології машинобудування і ремонту машин ХНАДУ [4 – 7], який складається з акселерометрів Freescale Semiconductor модель MMA7260QT (поз. 5, 6, рис. 3), ноутбука 4 для обробки та зберігання даних, отриманих в процесі проведення експерименту.

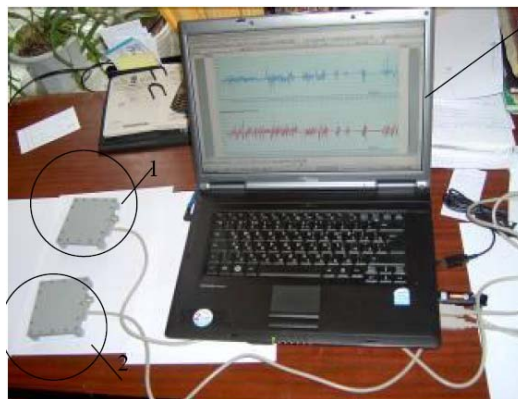


Рисунок 4 – Мобільний вимірювальний комплекс, розроблений кафедрою технології машинобудування і ремонту машин ХНАДУ:  
 1, 2 – акселерометри; 3 – ноутбук

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, що наведена на рис. 3. Після встановлення і налаштування мобільного вимірювального комплексу (рис. 5), проводилося експериментальне дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Vario за методикою, що була наведена вище. В результаті для різних законів натиснення на педаль акселератора і ступеня прискорення джойстика при розгоні з усіма та одним ведучим мостом, та варійованою силою тяги на гаку визначалися поздовжні прискорення  $j$  трактора Fendt 936 Vario.

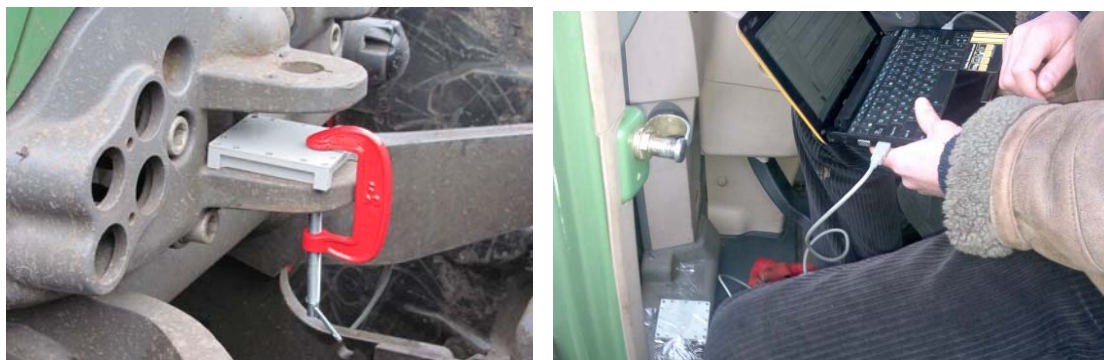


Рисунок 5 – Встановлення і налаштування мобільного вимірювального комплексу на тракторі Fendt 936 Vario

Для зберігання та обробки результатів, отриманих при дослідженні процесу розгону трактора Fendt 936 Vario з відеокамери 1 (рис. 3), електронного динамометра 2, GPS-навігатора 7, який дозволяє визначити дійсну швидкість руху трактора, датчиків частоти обертання коліс 8, 9 користувалися ноутбуком 3.

Використання електронного динамометра 2 (рис. 3) дозволяє визначати силу тяги на гаку в діапазоні 100 – 5000 кг, максимальна похибка не перевищує  $\pm 0,2\%$ . Сигнал з електронного динамометра (рис. 6) в кг з періодичністю 0,2 с. в цифровому вигляді подавався на ноутбук 3 (рис. 3) та відображався в спеціально розробленій програмі, інтерфейс якої зображено на рис. 7.



Рисунок 6 – Електронний динамометр

Інтерфейс програми (рис. 7) складається з чотирьох клавiш керування: “Старт”, “Стоп”, “Очистить”, “Выход” та одного вiкна – “Сила тяги на крyкe”.

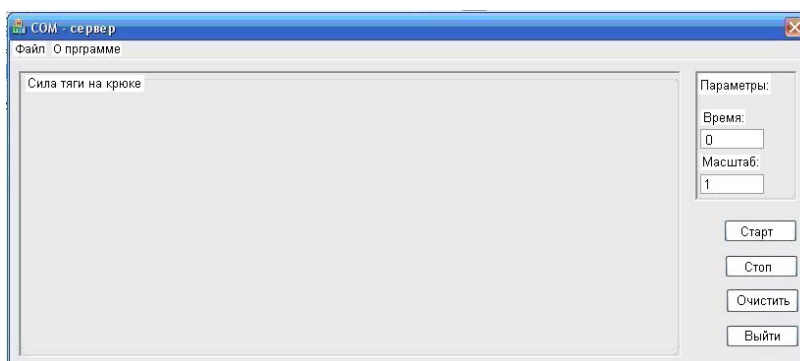


Рисунок 7 – Інтерфейс програми для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра

Початок реєстрації результатів починається після запуску файлу програми “ComServer.exe” (рис. 8) та натисненні на кнопку “Старт”, зупинка – при натисненні на кнопку “Стоп” (рис. 7). 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. 7) – “Масштаб”.

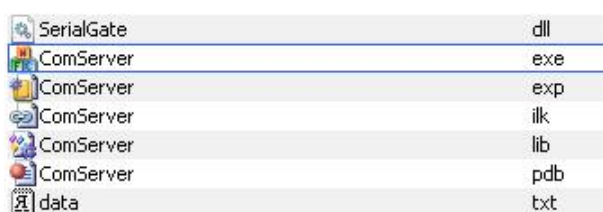


Рисунок 8 – Запуск програми для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра

Візуально зміну сили тяги на гаку від часу протягом дослідження можна спостерігати у вікні “Сила тяги на крyкe”. Ліквідація отриманих результатів з даного вiкна 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.

Сигнали з датчиків частоти обертання коліс 8, 9 (рис. 3) в  $\text{хв}^{-1}$  з періодичністю 0,05 с. в цифровому вигляді подавався на ноутбук 3 (рис. 3) та відображався в спеціально розробленій програмі, інтерфейс якої аналогічний інтерфейсу програми, зображеному на рис. 7. Відмінність полягає лише в кількості основних вiкн. Замість вiкна “Сила тяги на крyкe” – вiкна “Частота вращення колес 1” та “Частота вращення колес 2”. Масштаб відображення отриманих результатів, відповідно, задається у вікні “Параметры” за допомогою “Масштаб 1” та “Масштаб 2”. Зберігання результатів випробування автоматично відбувається в текстових файлах “data 1.txt” та “data 2.txt” в два стовпчика: правий – час в секундах, лівий – значення обертів коліс в  $\text{хв}^{-1}$ . В іншому принцип роботи програми аналогічний.

**Висновки.** В роботі наведена методика експериментального дослідження впливу прискорення  $j$  трактора при русі з усіма ведучими мостами при виконанні польових робіт, усіма і одним ведучим мостом при виконанні транспортних робіт, та варійованою силою тяги на гаку на буксування коліс трактора Fendt 936 Vario, описано принцип дії приладів та апаратури, що використовувалися при випробуваннях.

**Список літератури:** 1. Самородов В. Б. Аналіз безступінчастих двопотокових гід्रोоб'ємно-механічних тракторних трансмісій: вибір і обґрунтування перспективних схем / В. Б. Самородов, О. В. Григоров, А. І. Бондаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – 2012. – № 20. – С. 24 – 46. 2. Самородов В. Б. Синтез безступінчастих двопотокових гід्रोоб'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. 3. 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. 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. 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. 6. 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. 7. 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. 8. [www.profi-mediacenter.com/eastspecial.html](http://www.profi-mediacenter.com/eastspecial.html).

*Надійшла до редколегії 04.03.2014*

УДК 621.83.062

**Експериментальне дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Vario / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко, А. П. Кожушко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 3-10. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2078-6840.**

В работе приведена методика экспериментального исследования процесса разгона колесного трактора Fendt 936 Vario с бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссией, описан принцип действия приборов и аппаратуры, которые использовались в процессе испытаний.

**Ключевые слова:** колесный трактор, разгон, гидрообъемно-механическая трансмиссия, экспериментальное исследование.

**Experimental study of the process of the runaway of the wheel tractor Fendt 936 Vario / V. B. Samorodov, A. I. Bondarenko, A. P. Kozhushko // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 9 (1052). – P. 3-10. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2078-6840.**

The method of experimental research of process of acceleration of the wheeled tractors of Fendt 936 Vario is resulted with a hydrostatic mechanical transmission, principle of action of devices and apparatus, which were used for the test is described in work.

**Keywords:** wheeled tractor, acceleration, hydrostatic mechanical transmission, experimental research.