

А.І. Бондаренко, к.т.н., докторант  
А.П. Кожушко, аспір.  
М.О. Мітцель, аспір.  
В.Б. Самородов, д.т.н., проф.  
Національний транспортний університет

## МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗГОНУ ТРАКТОРА FENDT 936 VARIO ПРИ ВИКОНАННІ ПОЛЬОВИХ ТА ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ

*В роботі наведена методика експериментального дослідження впливу прискорення трактора Fendt 936 Vario 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, 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, розгін, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, експериментальне дослідження.

**Вступ. Постановка проблеми.** 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 розробка методики експериментального дослідження процесу розгону трактора Fendt 936 Vario 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: визначити умови проведення випробувань, об'єкт дослідження, завдання випробувань, прилади та апаратуру.

Методика експериментального дослідження процесу розгону трактора Fendt 936 Vario при виконанні польових та транспортних робіт

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

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

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

1. Розгін трактора здійснюється за допомогою Тракторного Маневрового Систему (TMS), принцип роботи якої полягає в тому, що водій задає бажаний режим руху, який джойстиком задається один з чотирьох ступенів прискорення (рис. 2), а необхідна кількість 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.



Рис. 1. Трактор Fendt 936 Vario

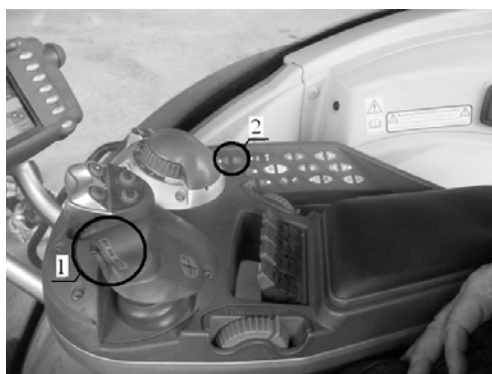


Рис. 2. Багатофункціональний пульт керування на консолі підлокітника:

1 – кнопка обирання ступенів прискорення на джойстику; 2 – кнопка обирання діапазонів

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  $R_{\text{кр}} = 0$  кН з подальшим кроком  $\Delta R_{\text{кр}} = 10$  кН в бік збільшення до максимально можливого значення  $R_{\text{крmax}}$ , 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  $R_{\text{кр}} = 0$  кН з подальшим кроком  $\Delta R_{\text{кр}} = 10$  кН в бік збільшення до максимально можливого значення  $R_{\text{крmax}}$ , 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  $R_{\text{кр}}$ , кількості ведучих мостів та умов експлуатації (сухий асфальт, мокрий асфальт, сніг).

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 Vario 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 $P_{кр} = P_{кр\max}$ 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 $P_{кр} = P_{кр\max}$ кН				
I				
II				
...				
Розгін від V = 0 км/год. до V <sub>max</sub> км/год., сила тяги на гаку $P_{кр} = 0$ кН				
I				
II				
Розгін від V = 0 км/год. до V <sub>max</sub> км/год., сила тяги на гаку $P_{кр} = 10$ кН				
I				
II				
...				
Розгін від V = 0 км/год. до V <sub>max</sub> км/год., сила тяги на гаку $P_{кр} = P_{кр\max}$ кН				
I				
II				

Схема розташування обладнання на тракторі наведена на рисунку 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.

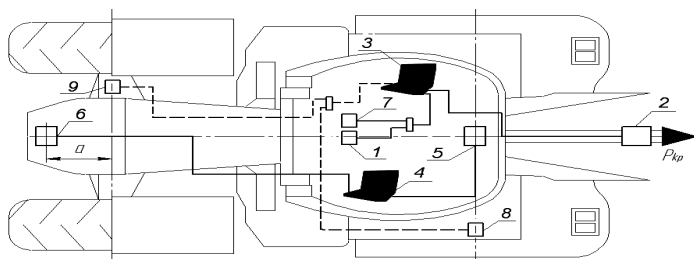


Рис. 3. Схема розташування обладнання на тракторі Fendt 936 Vario:

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

Таблиця 2

*Результати досліджень розгону трактора Fendt 936 Vario при виконанні транспортних робіт (варіант процесу розгону № 2)*

Ступінь	Закон	Ведучих два мости	Ведучий задній міст
---------	-------	-------------------	---------------------

приско- рення	$h_a = f(t_a)$	V	j	$\delta_1$	$\delta_2$	V	j	$\delta_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
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								
Закінчення табл. 2								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
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								
...								

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 Vario 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.



Рис. 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  $\pm 1,5 g$ , мають максимальну похибку 1 %.

У процесі підготовки до проведення експерименту акселерометри встановлювалися за схемою, що наведена на рисунку 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.



Рис. 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 рисунку 7.



Рис. 6. Електронний динамометр

Інтерфейс програми (рис. 7) складається з чотирьох кнопок керування: «Старт», «Стоп», «Очистити», «Выход» та одного вікна – «Сила тяги на крюке».

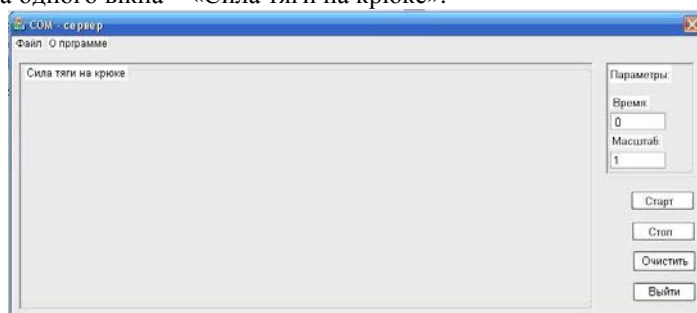


Рис. 7. Інтерфейс програми для візуалізації отриманих результатів з електронного динамометра

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 «Параметри» під надписом «Время» та вимірюється в секундах. Масштаб відображення отриманих результатів задається у вікні «Параметри» (рис. 7) – «Масштаб».

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

Рис. 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 крюке». Ліквідація отриманих результатів з даного вікна здійснюється при натисненні на кнопку «Очистити». Для виходу з програми достатньо скористатися відповідною кнопкою програми – «Выход». Зберігання результатів випробування автоматично відбувається в текстовому файлі «data.txt» (рис. 7) в два стовпчики: 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 рисунку 7. Відмінність полягає лише в кількості основних вікон. Замість вікна «Сила тяги на крюке» – вікна «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 стовпчики: правий – час в секундах, лівий – значення обертів коліс в  $\text{хв}^{-1}$ . В іншому принцип роботи програми аналогічний.

**Висновок.** 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 Varío, описано принцип дії приладів та апаратури, що використовувалися при випробуваннях.

**Список використаної літератури:**

1. *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 випуск : Транспортне машинобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 20. – С. 24–46.
2. *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. – Харків : ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2013. – № 135. – С. 140–150.
3. *Самородов В.Б.* Обґрунтування оптимальних конструктивних параметрів безступінчастим трансмісії трактора / *В.Б. Самородов, А.В. Рогов* // Вісник НТУ «ХПІ» / Тематичний випуск: Автомобіле-і тракторобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – № 1. – С. 8–14.
4. *Клец Д.М.* Визначення кута поздовжнього нахилу автомобіля при проведенні динамічних випробувань / *Д.М. Клец* // Вісник НТУ «ХПІ» / Серія: Транспортне машинобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 18. – С. 24–29.
5. *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.
6. *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. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 2. – С. 127–135.
7. *Клец Д.М.* Розробка мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу для проведення динамічних випробувань колісних машин / *Д.М. Клец* // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2012. – № 25. – С. 234–241.
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.profi-mediacenter.com/eastspecial.html](http://www.profi-mediacenter.com/eastspecial.html).

**БОНДАРЕНКО** Анатолій Ігорович – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри автомобіле- і тракторобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– теорії гальмування транспортних засобів з безступінчастими гідрооб'ємно-механічними трансмісіями.

Тел.: (095)867-44-78.

E-mail: [anatoliybon@rambler.ru](mailto:anatoliybon@rambler.ru).

**КОЖУШКО** Андрій Павлович – аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– дослідження впливу гідрооб'ємно-механічних трансмісій на динаміку розгону самохідних машин на прикладі колісних тракторів різної потужності і призначення.

E-mail: [Kozhushko@mail.ua](mailto:Kozhushko@mail.ua).

**МІТЦЕЛЬ** Микола Олександрович – аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– дослідження гідрооб'ємно-механічних трансмісій.

**САМОРОДОВ** Вадим Борисович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобіле- і тракторобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

– структурний і параметричний синтез безступінчастих гідрооб'ємно-механічних трансмісій для транспортних засобів.

Тел.: (057)707-64-64.

Стаття надійшла до редакції 25.08.2014