

І.Г. Грабар, д.т.н., професор,
В.Г. Баженов, д.т.н., проф.
Є.Г. Опанасюк, к.т.н., доц.,
Д.Б. Бегерський, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ МОДЕЛІ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ З ГРУНТОМ

У статті наведено обґрунтування необхідності дослідження взаємодії пневматичної шини з ґрунтом. Наведено опис програмно-апаратного комплексу, розробленого спеціально для цих досліджень (вимірювально-реєструючої апаратури), та детальний опис можливостей програмного забезпечення, що використовується для реєстрації та попередньої обробки результатів експерименту.

Вступ. Аналіз матеріалів відомих теоретичних і експериментальних досліджень показує, що конструктори ще не мають достатньої інформації про динамічні властивості системи "колісний рушій-ґрунт" (КРГ). Крім того, існує потреба в удосконаленні і самої методики розрахунку колісного рушія з урахуванням коливальних процесів, пов'язаних з нестационарними характеристиками тертя (зчеплення) шини рушія і сипучого ґрунту, та їх деформаціями.

Таке положення призвело до того, що закладені в конструкцію потенційні можливості щодо тяги і зчеплення на сипучих ґрунтах використовуються автомобілями високої прохідності на 60–70 %. Крім того, внаслідок високої динамічної завантаженості значно скорочується робочий ресурс елементів трансмісії і рушія.

У зв'язку з цим роботи з експериментальних і теоретичних досліджень динаміки системи "автомобіль-ґрунт" для удосконалення методики розрахунку привода і шин рушія із заданими наперед пружно-демпферними характеристиками є актуальними.

Дані дослідження присвячені розв'язку задач, пов'язаних з підвищенням прохідності автомобілів, призначених для роботи у регіонах із сипучими піщаними ґрунтами і сніжним покривом, шляхом удосконалення конструктивних параметрів рушія.

Задача актуальна тому, що від її розв'язку залежить функціональна надійність автомобіля. Наукова гіпотеза полягає в тому, що шляхом оптимізації конструктивних параметрів рушія можна істотно підвищити показники прохідності і динамічності автомобілів високої прохідності (АВП).

Огляд літератури та обґрунтування доцільності досліджень. Значний внесок у розвиток теорії автомобілів високої прохідності, удосконалення їхніх конструкцій зроблений вітчизняними дослідниками Є.О. Чудаковим, А.К. Фрумкіним, Г.В. Зімелевим, М.Ф. Бочаровим, Я.С. Агейкіним, Г.А. Смірновим, В.І. Кнорозом, В.М. Семеновим, Г.Б. Безбородовою, М.Ф. Кошарним, С.Г. Вольським, закордонними авторами М.Г. Беккером, А.Солтинским, багатьма іншими, а також колективами НДІ й КБ автомобільних заводів. Більш докладно про їхні роботи було написано в [1].

У роботі [2] запропоновано теорію, згідно з якою сила тертя під час буксування автомобільного колеса залежить лише від властивостей ґрунту, таких як коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту, кут внутрішнього тертя ґрунту та несуча здатність ґрунту.

У роботі [3] наведено експериментальні та теоретичні дослідження закономірностей деформації ґрунту під дією автомобільного колеса у веденому режимі та представлено обґрунтування вибору рівняння для опису процесу деформування ґрунту.

Проте в усіх наведених роботах мова йде про стаціонарні режими руху, що не відповідає реальним умовам експлуатації транспортних засобів. Крім того, в даних роботах характеристика тертя між шиною і ґрунтом також вважається постійною, хоча відомо, що це не так (сили тертя спокою і ковзання відрізняються одна від одної).

Тому на підставі всього сказаного вище та матеріалу, наведеного в статті [1], можна зробити висновок про те, що наявної інформації про взаємодію автомобільного колеса з ґрунтом недостатньо для повного описання цих процесів. Тому дані дослідження є актуальними. (Більш детальна інформація щодо обґрунтування необхідності даних досліджень наведено в [1]).

Програмно-апаратний комплекс для дослідження взаємодії моделі пневматичної шини з ґрунтом. Спеціально для проведення даних досліджень в лабораторії кафедри автомобілів і механіки технічних систем було створено програмно-апаратний комплекс, який шляхом фізичного моделювання дозволяє досліджувати взаємодію моделі шини з сипучим ґрунтом при різному стані та складі ґрунту та при змінюваних умовах навантаження на ґрунт, а також при різних жорсткостях та швидкостях привода. Даний комплекс дозволяє вимірювати в режимі реального часу кінематичні та динамічні характеристики

руху плоского штампа, що взаємодіє з ґрунтом.

Даний програмно-апаратний комплекс складається з:

- експериментальної установки;
- реєструючої апаратури;
- комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням.

Детальний опис експериментальної установки (з кінематичними та електричними схемами) було наведено в статті [1].

Реєструюча апаратура. До реєструючої апаратури, що входить до складу даного комплексу, можна віднести датчики, призначені для реєстрації таких кінематичних та силових характеристик:

- переміщення штампа;
- вертикальне навантаження на штамп;
- сила зсуву штампу по ґрунту.

Датчик для вимірювання переміщення штампа. Загальний вигляд та схема датчика переміщень штампку наведена на рис. 1.

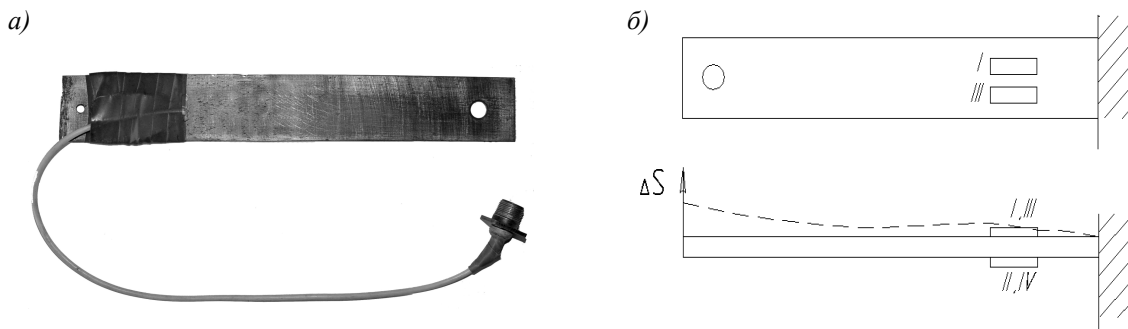


Рис. 1. Конструкція датчика для вимірювання переміщень штампку:
а) загальний вигляд датчика переміщень штампку; б) схема роботи датчика

Датчик виконаний у вигляді тонкої пластини з чотирма чутливими елементами, один торець якої консольно закріплений, а другий – з'єднаний через блок зі штампком. Чутливі елементи датчика з'єднані за схемою повного моста з симетрією першого виду [4] (рис. 4).

Датчик для вимірювання вертикального навантаження на штамп. Даний датчик виконаний у вигляді пружної дуги з великим радіусом, що опирається на штампку через чотири підшипники. На середину дуги через навантажувальний пристрій [1] задається навантаження, яке через датчик передається на штампку. Загальний вигляд та схему роботи датчика вертикального навантаження на штампку наведено на рис. 2.

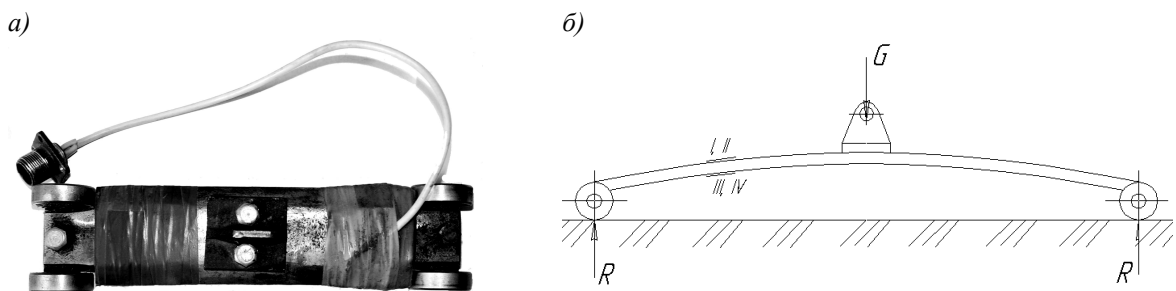


Рис. 2. Конструкція датчика вертикального навантаження на штампку:
а) загальний вигляд датчика вертикального навантаження на штампку;
б) схема роботи датчика

Схему з'єднання чутливих елементів представлено на рис. 4.

Датчик сили зсуву штампку по ґрунту. Датчик для вимірювання зусилля зсуву являє собою кільцеву тензоланку (рис. 3), обладнану чотирма тензодатчиком, з'єднаними за мостовою схемою (рис. 4).



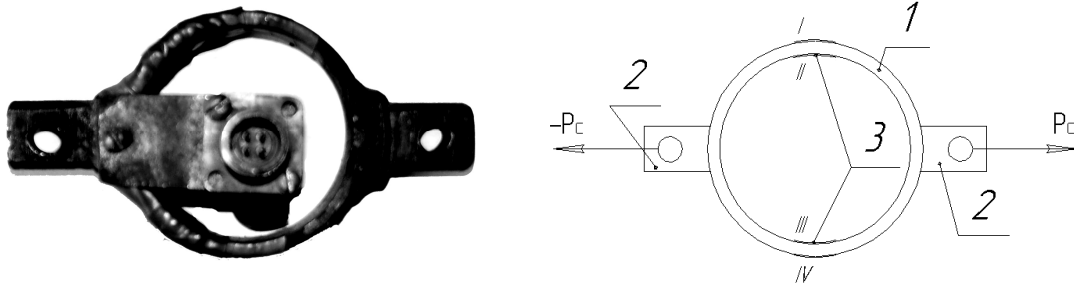


Рис. 3. Конструкція датчика для вимірювання сили зсуву штамп:
 а) загальний вигляд датчика сили зсуву штамп;
 б) схема роботи датчика: 1 – кільце; 2 – кріплення; 3 – тензорезистори

Як чутливі елементи датчиків використовувалися тензорезистори з номінальним опором 100 Ом і базою 10 мм. Для їх з'єднання була обрана схема повного моста з симетрією першого виду [4] і живленням від акумуляторної батареї (рис. 4).

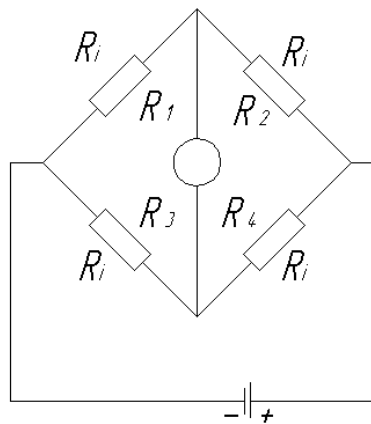


Рис. 4. Мостова схема з'єднання тензорезисторів зі симетрією першого виду

При використанні для живлення моста акумуляторної батареї, внутрішній опір якої практично дорівнює нулю:

$$R_{вих} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

Величина вихідного опору мостів:

- тензоланки для вимірювання сили зсуву F_c : $R_{вих} = 100$ Ом;
- тензоланки для вимірювання навантаження G_p : $R_{вих} = 100$ Ом;
- тензоланки для вимірювання переміщення S_p : $R_{вих} = 100$ Ом.

Блок-схему вимірювально-ресруючої апаратури наведено на рис. 5.

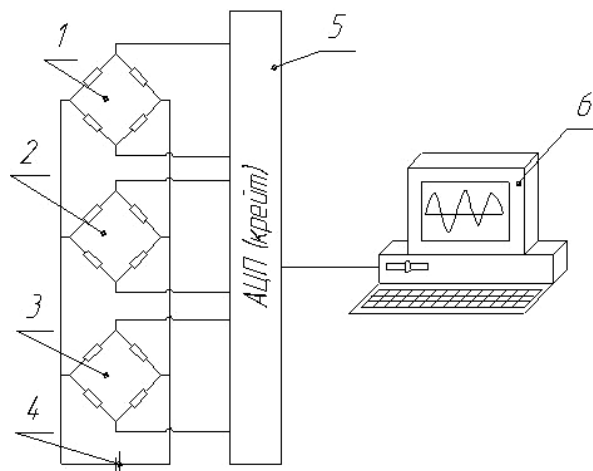


Рис. 5. Блок-схема вимірювально-ресруючої апаратури програмно-апаратного комплексу для дослідження зчипних властивостей моделі еластичної шини з ґрунтом:
 1 – тензоміст для вимірювання сили зсуву P_c ;

- 2 — тензоміст для вимірювання навантаження на штамп G_p ;
- 3 — тензоміст для вимірювання переміщення штамп S_p ;
- 4 — акумуляторна батарея (12в);
- 5 — аналогово-цифровий перетворювач (АЦП);
- 6 — комп'ютер

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). В даних дослідженнях використовується АЦП виробництва ЗАТ „L-card” моделі L-1250. Плати цієї серії призначені для перетворення аналогових сигналів в цифрову форму для персональних комп'ютерів. Дана плата дозволяє:

- здійснювати багатоканальний (16 диференційних каналів або 32 з спільною землею) ввід з аналогових каналів з частотою до 500 кГц на канал;
- здійснювати асинхронний ввід з різних аналогових каналів;
- керувати цифро-аналоговим перетворювачем одночасно з аналоговим вводом;
- вводити аналогову інформацію безпосередньо в пам'ять плати АЦП з подальшою передачею введених даних у комп'ютер;
- керувати цифровими лініями в асинхронному режимі;
- керувати крейтовою системою збору та аналізу даних;
- здійснювати цифрову фільтрацію в реальному масштабі часу;
- проводити багатоканальний спектральний аналіз сигналів у реальному масштабі часу.

Детальний опис даного АЦП можна знайти в [7].

Програмне забезпечення для опитування датчиків та аналізу результатів досліджень. Для опитування датчиків та попереднього аналізу результатів досліджень використовується програма „Power Graph 2.1”, розроблена компанією „L-card”.

Дана програма призначена для реєстрації, обробки та зберігання аналогових сигналів, записаних за допомогою аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП), і дозволяє використовувати персональний комп'ютер у якості звичайного самописця. Зовнішній вигляд основного робочого вікна програми представлено на рис. 6.

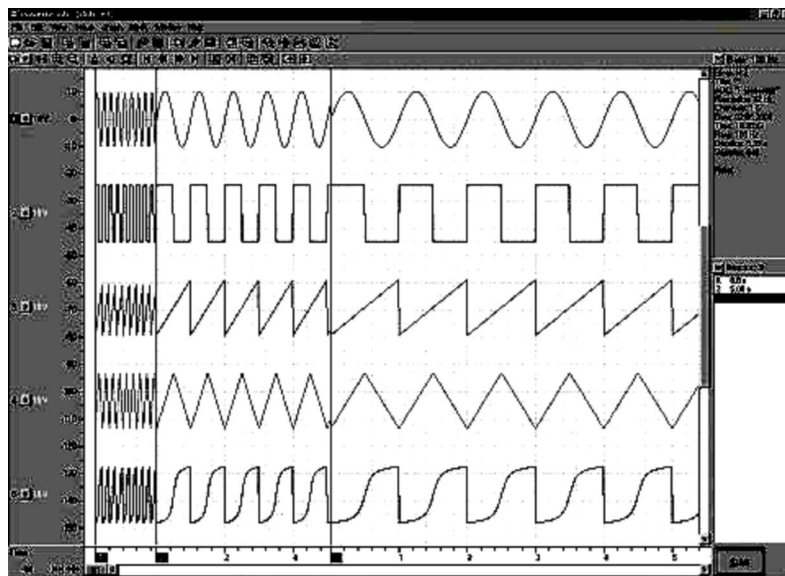


Рис. 6. Зовнішній вигляд основного робочого вікна програми „Power Graph 2.1”

Основні функції програми:

- оцифровка і реєстрація аналогових сигналів у реальному масштабі часу;
- графічне представлення та збереження даних;
- попередній аналіз та обробка записаних даних;
- імпорт та експорт даних.

Основні можливості та особливості програми:

1. Використання АЦП:

- підключення будь-яких типів АЦП;
- підтримка будь-яких апаратних і програмних параметрів АЦП;

- використання в якості АЦП математичних генераторів сигналів, системних пристроїв комп'ютера та будь-яких інших прототипів АЦП, необхідних для реєстрації деяких параметрів.

2. Запис сигналів:

- незалежне налаштування параметрів для кожного з каналів АЦП;
- запис сигналів з довільного набору каналів;
- попередній моніторинг і програмна корекція вхідного сигналу;
- підтримка будь-яких швидкостей запису;
- використання тригерів для початку та зупинки запису;
- блочна система запису;
- необмежений розмір запису;
- використання декількох АЦП для запису одного файла (попередньо).

3. Представлення даних:

- відображення даних для довільного набору каналів;
- масштабування шкал амплітуди і часу;
- вільне позиціонування даних по осям амплітуди і часу;
- зручна система навігації;
- маркування графіків за допомогою кольору та стилю;
- визначення значення амплітуди і часу на графіка;
- відображення параметрів запису (дата, час, швидкість, довжина, тип АЦП тощо);
- друк даних „як на екрані”.

4. Обробка даних:

- великий набір функцій для математичної обробки даних;
- створення та запис командних файлів для повторного використання алгоритмів обробки даних;
- генерація нових каналів з розрахунковими даними;
- використання виділення довільної області даних всередині блока;
- використання операцій редагування (копіювання, вставка, видалення) для виділеної області, або для цілого блока;

- додавання до запису даних з іншого файла;
- задання інформації для користувача: для всього запису та для кожного блока окремо.

5. Аналіз даних:

- набір статистичних та інформаційних функцій;
- побудова графіків залежності одного каналу від іншого;
- гістограма розподілу сигналу за амплітудою;
- побудова амплітудно-частотного спектру сигналу (за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є).

Налаштування аналогово-цифрових каналів. Для налаштування аналогово – цифрових каналів у програмі „Power Graph” використовується додаткове вікно – **Input Amplifier** („Вхідний підсилювач”). Зовнішній вигляд цього вікна представлено на рис. 7.

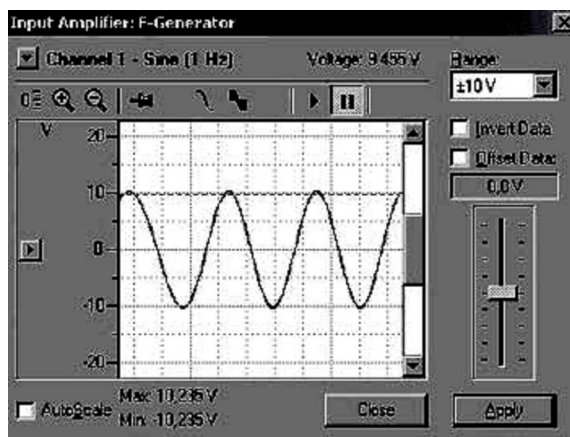


Рис. 7. Зовнішній вигляд вікна „Вхідний підсилювач” програми „Power Graph”

Вікно Input Amplifier дозволяє проводити моніторинг вхідного сигналу на довільному каналі АЦП, встановлювати діапазон вимірювань каналу (коефіцієнт підсилення) і проводити початкову програмну корекцію сигналу (інверсія і зміщення). Центральне місце у вікні займає графічний дисплей, зліва від

якого розташована шкала амплітуд. Справа від дисплея розташовані елементи керування, що дозволяють змінювати параметри налаштувань каналу.

Математична обробка каналів. У програмі „Power Graph” є потужний інструмент для обробки записаних даних, який дозволяє проводити математичні розрахунки над даними в каналах, генерувати нові канали з розрахунковими даними і автоматизувати обробку даних. Доступ до цього інструмента здійснюється за допомогою додаткового вікна „Channel Calculation”, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 8.

Дане вікно містить наступні категорії функцій:

- Data – операції над вихідними даними;
- Filters – функції фільтрації сигналів;
- Arithmetics – арифметичні операції над каналами;
- Math – математичні функції;
- Trigonometric – тригонометричні функції;
- Logarithmic – логарифмічні функції;
- Differential – функції диференціювання сигналів;
- Integral – функції інтегрування сигналів;
- Extremums – функції обробки екстремумів;
- Comparison – функції порівняння даних.



Рис. 8. Зовнішній вигляд вікна „Channel Calculation” програми „Power Graph”

Побудова графіка залежності одного каналу від іншого. X-Y Window – додаткове вікно програми, яке дозволяє побудувати графіки залежності одного каналу від іншого. Зовнішній вигляд цього вікна представлено на рис. 9.

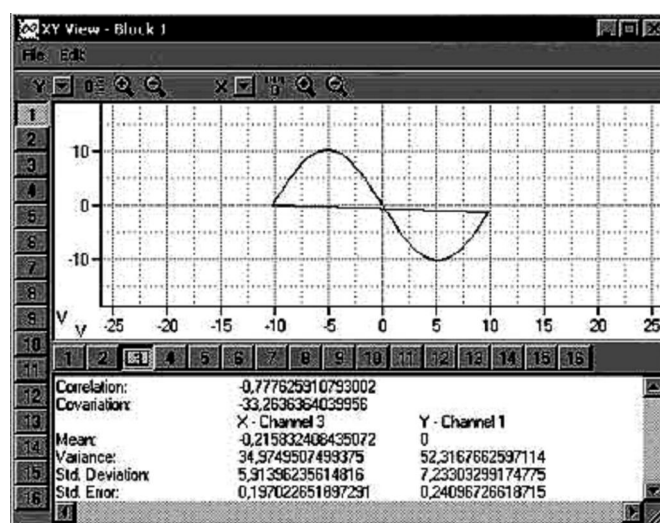


Рис. 9. Зовнішній вигляд вікна X-Y Window

Під графіком розташований горизонтальний ряд кнопок для вибору каналу даних осі X. Зліва від графіка розташований вертикальний ряд кнопок для вибору каналу даних по осі Y.

У нижній частині вікна X-Y Window розташоване текстове поле, що містить розраховані кореляційні ρ статистичні значення вибраних каналів:

- Correlation – лінійний коефіцієнт кореляції.
- Covariation – коефіцієнт коваріації (потрібен для розрахунку лінійного коефіцієнта кореляції).
- Mean – середнє значення для кожного каналу.
- Variance – дисперсія для кожного каналу.
- Std. Deviation – стандартне відхилення для кожного каналу.
- Std. Error – стандартна похибка для кожного каналу.

Більш детально ознайомитися з роботою програми „Power Graph” можна на офіційному сайті розробників цієї програми [5].

Висновки. Розраховано основні характеристики сконструйованого та виготовленого програмно-апаратного комплексу для дослідження динаміки контакту “пневматична шина–сипучий ґрунт”. Наведено основні характеристики комплексу, його основних вузлів та програмного забезпечення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Грабар І.Г., Опанасюк Є.Г., Можаровський М.М., Бегерський Д.Б., Опанасюк О.Є. Методологія дослідження процесу взаємодії моделі протектора пневматичної шини з ґрунтом // Технічні науки / Вісник ЖДТУ. – 2006. – № 3 (38) – С. 11–19.
2. Сирота В.И. Исследование процесса буксования автомобильных шин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.
3. Золотаревская Д.И. Исследование влияния реологических свойств грунта на сопротивление качению ведомых колес. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 1971.
4. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии. – Минск.: Высшейш. школа, 1975.
5. www. powergraph. ru
6. Киреев А.М. Исследование радиуса качения автомобильного колеса. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук. – Москва, 1974.
7. www. lcard. ru

ГРАБАР Іван Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів і механіки технічних систем, проректор з наукової роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- міцність конструкцій;
- нелінійні явища та моделі;
- синергетика;
- нові технології, прискорені сертифікаційні дослідження в умовах складного температурно-силового навантаження.

БАЖЕНОВ Володимир Григорович – доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- міцність конструкцій;
- нелінійні явища та моделі;
- нові технології, прискорені сертифікаційні дослідження в умовах складного температурно-силового навантаження.

ОПАНАСЮК Євген Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- екологія автомобільного транспорту;
- теорія і конструкція автомобілів та двигунів;
- прохідність автомобілів.

БЕГЕРСЬКИЙ Дмитро Богданович – аспірант кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- прохідність автомобілів;
- контактна взаємодія між елементами насипних середовищ.

Подано 17.01.2007

Грабар І.Г., Баженов В.Т., Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б. Програмно-апаратний комплекс для дослідження взаємодії моделі пневматичної шини з ґрунтом.

Грабар И.Г., Баженов В.Т., Опанасюк Е.Г., Бегерский Д.Б. Программно – аппаратный комплекс для исследования взаимодействия модели пневматической шины с грунтом.

Grabar I.G. , Bazhenov V.T., Opanasjuk E.G., Begerskij D.B. Hardware-software complex for research interaction of pneumatic tyre's model with ground.

УДК 629.113

Програмно-апаратний комплекс для дослідження взаємодії моделі пневматичної шини з ґрунтом / І.Г. Грабар, В.Т. Баженов, Є.Г. Опанасюк, Д.Б. Бегерський

У статті наведено обґрунтування необхідності дослідження взаємодії пневматичної шини з ґрунтом. Наведено опис програмно-апаратного комплексу, розробленого спеціально для цих досліджень (вимірювально – реєструючої апаратури), та детальний опис можливостей програмного забезпечення, що використовується для реєстрації та попередньої обробки результатів експерименту.

УДК 629.113

Программно-апаратный комплекс для исследования взаимодействия модели пневматической шины с грунтом./ И.Г. Грабар, В.Т. Баженов, Е.Г. Опанасюк, Д.Б. Бегерский

В статье приведено обоснование необходимости исследования взаимодействия пневматической шины с грунтом. Приведено описание программно – аппаратного комплекса, разработанного специально для этих исследований (измерительно – регистрирующей аппаратуры), и детальное описание возможностей программного обеспечения, которое используется для регистрации и предварительной обработки результатов эксперимента.

УДК 629.113

Hardware-software complex for research interaction of pneumatic tyre's model with ground / I.G. Grabar, V.G. Bazhenov, E.G. Opanasjuk, D.B. Begerskij

In article the substantiation necessity of research interaction of the pneumatic trunk with a ground. The description hardware-software complex developed specially for these researches (measuring - recording equipments) and the detailed description of opportunities of the software which is used for registration and preliminary processing of experimental results.