

І.Г. Грабар, д.т.н., проф.
В.М. Іванченко, аспір.
В.О. Ломакін, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІВ ПРИСКОРЕНЬ

Обґрунтована необхідність і запропоновано програмно-апаратний комплекс для експериментального дослідження двох компонент прискорень макросистем.

Вступ. Системи автоматизованого керування і автоматичного регулювання стали неодмінною частиною сучасного високотехнологічного виробництва. Вони все ширше використовуються в сучасних промислових та побутових приладах. Датчик фізичної величини є необхідною складовою будь-якого контуру керування, забезпечуючи сигналом зворотного зв'язку електроніку, що керує виконуючим пристроєм [1].

Тенденції розвитку систем автоматизованого керування наступні:

- збільшення точності вимірювань;
- зменшення дрейфу характеристик під дією зовнішніх змін напруги та температури;
- збільшення інтеграції пристроїв, включення в структуру систем калібрування та інтерфейсів для з'єднання зі стандартними пристроями автоматики та вимірювання;
- зменшення напруг та струмів живлення, що має першочергове значення для мобільних застосувань;
- вдосконалення технології виготовлення з метою зменшення вартості.

Огляд джерел. Інтегральні акселерометри належать до особливого класу пристроїв, що виникли у зв'язку з розвитком технологій "MEMS" (MEMS - Micro Electro Mechanical Systems) – потрібно розуміти як напівпровідникові структури, що складаються як із мініатюрних мікромеханічних елементів, так і з інтегрованих напівпровідникових мікросистем обробки даних [2, 3].

Мініатюрні електромеханічні елементи – це мініатюрні датчики, електроприводи, мембрани, які приймають і випромінюють коливання та інші подібні елементи, що зроблені на звичайній кремнієвій підкладці з використанням процесів «мікромеханічної обробки», які являють собою комплект технологій виробництва напівпровідних структур, що дозволяють формувати в напівпровідній підкладці (кремнієвій основі) мініатюрні чітко виражені рельєфні структури достатньо великої глибини.

Мікросистеми обробки даних – це, зазвичай, функціонально орієнтовані аналогові чи змішані (аналогові і цифрові) спеціалізовані пристрої, призначені для попередньої обробки інформації та оптимального сполучення з мініатюрними електромеханічними елементами. Взагалі мікросистеми обробки даних виготовляються з використанням однієї стандартної інтегральної технології, наприклад, біполярної, CMOS чи BiCMOS.

Використання технологій MEMS дозволяє по-новому уявити практично всі відомі на сьогоднішній день категорії виробів мікроелектроніки [4]. Кожен виріб, що виготовлений за технологією MEMS, має спеціалізовану мікросистему обробки даних, інтегровану або з вхідним мікромеханічним датчиком, чи з вихідним мікромеханічним пристроєм. Іншими словами, використання пристроїв MEMS дозволяє створювати високоінтелектуальні вхідні датчики чи вихідні виконуючі пристрої. Такі пристрої здатні «самостійно» (тобто без участі електроніки більш високого рівня) контролювати інформацію про зміни навколишнього середовища в цілому та її механічних, теплових, біологічних, хімічних, оптичних чи магнітних складових. Отримана від вбудованих мікромеханічних датчиків інформація обробляється спеціалізованою мікросистемою обробки даних на достатньо високому розрахунковому рівні, що дозволяє прийняти необхідні рішення безпосередньо в пристрої MEMS, і, отже, можливо здійснити необхідні дії на навколишнє середовище мікромеханічними виконуючими пристроями, що інтегровані в цей же пристрій, наприклад, змінити положення вхідних датчиків, включити виконуючі мініатюрні приводи, перенести чи встановити в задану позицію інші датчики.

Використання акселерометрів, виготовлених за технологією MEMS, дозволяє розробляти, створювати та впроваджувати нові пристрої та системи, що будуть мати безпрецедентні технічні та економічні характеристики та будуть використовуватися в галузях науки і техніки, де використання подібних пристроїв було б неефективним, недоцільним або взагалі неможливим.

Інтегральні акселерометри належать до датчиків механічного руху та перетворюють лінійне прискорення від руху чи гравітації в електричний сигнал.

Типові діапазони прискорень [3]:

- 1g – прискорення, що виникає при дії на об'єкт дії тяжіння, наприклад, на обладнання, що знаходиться на вашому столі;
- 0-2g – діапазон прискорення, що відчуває людина в момент руху;
- 5-20g – прискорення, що відчувають водії в момент типової аварії;
- 100-200g – прискорення, що діє на ваш портативний комп'ютер, якби ви кинули його з висоти 30 см на бетонну підлогу;

- 1000g – прискорення, що буде діяти на об'єкт, якщо в нього вистрілити з артилерійської гармати.

За допомогою акселерометрів, сигнал яких обробляється програмно-апаратним комплексом (ПАК), з'являється можливість вимірювання всіх характеристик тіл, що пов'язано з їх механічним рухом, вібраційними коливаннями та положення відносно вектора гравітації:

- Кут нахилу.

Акселерометри дозволяють вимірювати значення земної гравітації («статичне прискорення», тому за їх допомогою можна виміряти кут нахилу. Так, акселерометри використовуються в автомобільних сигналізація, гральних пристроях, моніторах активності пацієнта, в спортивному інвентарі. Акселерометри Analog Devices мають великий ступінь інтеграції та вимірюють нахил у більш широкому діапазоні частот (до 200Гц), ніж більшість рідинних датчиків (до 1Гц).

- Прискорення, швидкість, відстань, сила.

Акселерометри можуть використовуватись для визначення швидкості, відстані та сили [5]. Використовуються як датчики руху транспорту, в системах навігації і контролю висоти.

- Ударні навантаження та вібрація.

Акселерометри використовуються для визначення швидкості, наприклад, від обертання частин обладнання (двигуни, верстати, приводи, дисководи) чи при землетрусі. Також вони використовуються для вимірювання справності машин і прогнозування виходу з ладу.

Постановка задачі.

1. Створити ПАК для зчитування, перетворення, передачі, обробки, відображення та зберігання інформації двокомпонентного сигналу (a_x і a_y) акселерометра з аналоговим виходом.
2. Протестувати його роботу в двох частотних діапазонах вимірювання.

Викладення основного матеріалу. Результатом проведеної роботи стало створення ПАК для вимірювання двох компонент прискорень макросистем в будь-якій точці рухомого тіла, ланки механізму чи системи елементів $(a_x, a_y) \in \{xy\}$.

Комплекс має у своєму складі дві функціональні складові – програмну та апаратну. В свою чергу, кожна з цих компонент також складається з двох частин: мікроконтролера та персонального комп'ютера (ПК). Загальна структура ПАК зображена на рис. 1.

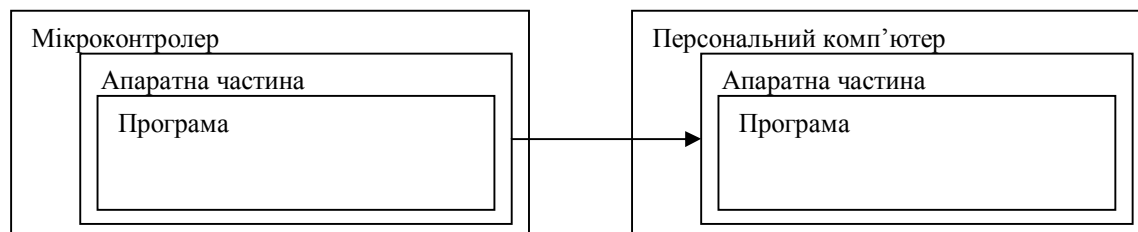


Рис. 1. Структура ПАК

Мікроконтролерний модуль представляє собою дві з'єднані між собою монтажні плати, на яких знаходяться (рис. 2):

- мікроконтролер AT91SAM7S256 (256KB FLASH, 64KB SRAM, 2 x USART, 1 x UART DBGU, 1 x USB device, 3 x 16-bit timers, 4 x PWM, 8ch x 10-bit ADC, SPI, TWI, 32 x i/o pins, 55 MHz, QFP 64) з вбудованими периферійними модулями (для нашої задачі використовуються аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) та універсальний асинхронний прийомопередавач (УАПП));

- акселерометр ADXL204;
- кварцовий резонатор на частоту 18,432 МГц;
- інтерфейс RS-232 (мікросхема MAX232CPE та зовнішній роз'єм);
- гніздо живлення ПАК від зарядного блока AC-2E до мобільних телефонів NOKIA;
- зовнішній роз'єм для програмування та налагодження.

Загальний вигляд мікроконтролерного модуля наведено на рис. 3.

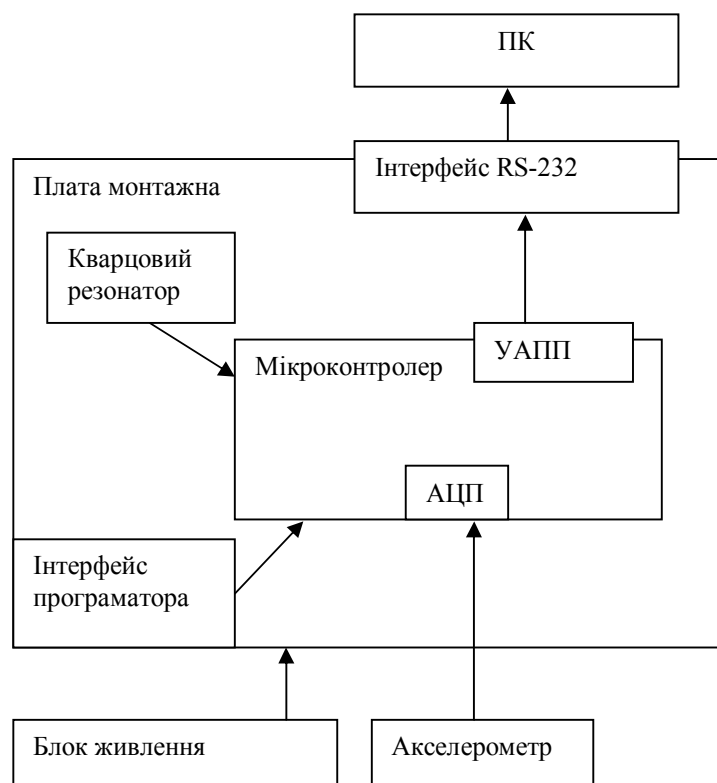


Рис. 2. Структура мікроконтролерного модуля

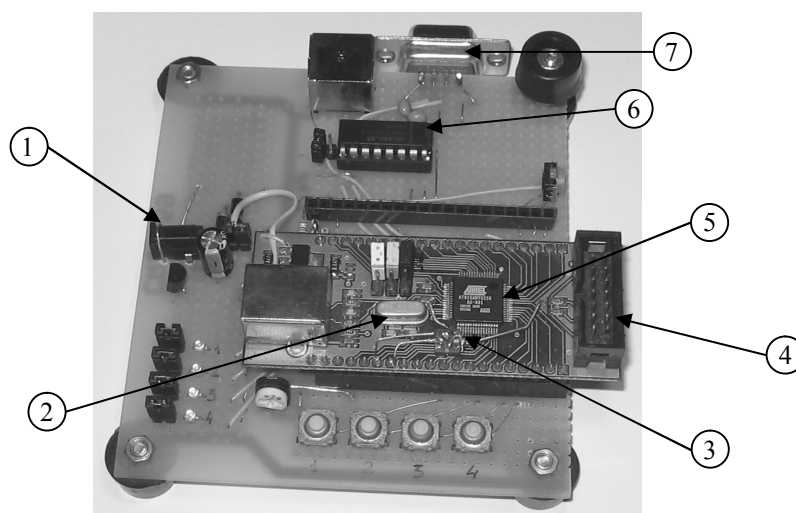


Рис. 3. Загальний вигляд мікроконтролерного модуля :

- 1 – гніздо живлення; 2 – кварцовий резонатор; 3 – акселерометр ADXL204;
 4 – інтерфейс програматора; 5 – мікросхема мікроконтролера AT91SAM7S256;
 6 – мікросхема MAX232CPE інтерфейсу RS-232; 7 – роз'єм інтерфейсу RS-232

Як датчик прискорення вибрано оптимальний, з точки зору співвідношення ціна–якість–доступність, двоканальний акселерометр з аналоговим виходом ADXL204 фірми Analog Devices (рис. 4), яка є лідером з продаж акселерометрів та гіроскопів, контролюючи 40 % ринку датчиків для системи управління подушками безпеки (основний попит) та інших систем [3]. Analog Devices виготовляє одно- та двокоординатні акселерометри з діапазоном прискорень {1,5–250g}. Існують версії з комерційним (0...70 °C) та індустріальним (–40...125 °C) діапазонами робочих температур.

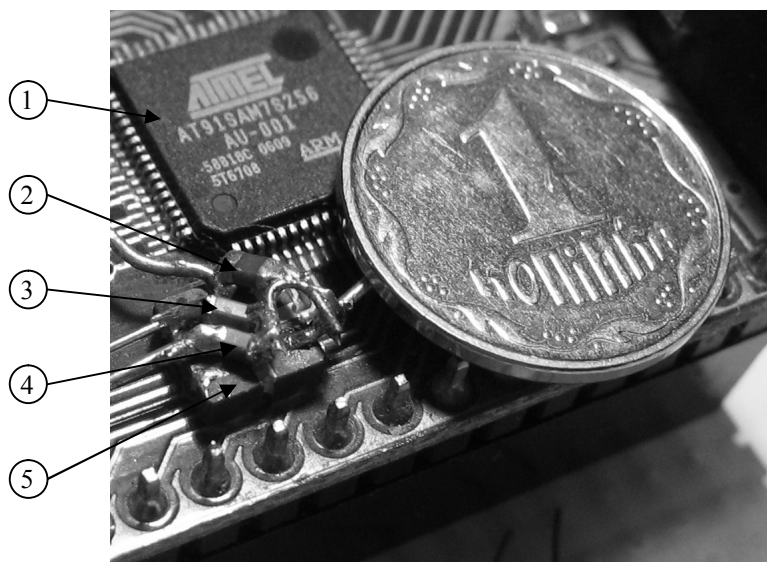


Рис. 4. Загальний вигляд експериментального монтажу акселерометра ADXL204:

- 1 – мікросхема мікроконтролера AT91SAM7S256;
- 2 – конденсатор фільтра живлення (0,1мкФ);
- 3 – конденсатор фільтра Cx - 500Гц (0,01мкФ);
- 4 – конденсатор фільтра Cy - 50Гц (0,1мкФ);
- 5 – акселерометр ADXL204

Розуміючи назриваючу необхідність у недорогому та надійному датчику прискорення, виробники випустили цілу серію цих приладів, типовим представником з яких і є обраний нами акселерометр ADXL204 [6–8].

Цей датчик випускається в мініатюрному корпусі LCC, вимірює прискорення за двома взаємно перпендикулярними напрямками, вектори яких лежать паралельно площині корпусу мікросхеми, і перетворюють їх в аналоговий вихідний сигнал, пропорційний величині прискорення на осях.

У повному діапазоні величини, що вимірюється $\pm 1,7g$, акселерометр дозволяє досягти нелінійності перетворення в 0,2 % від повної шкали і витримує без пошкоджень ударні поштовхи та віброприскорення до 1000g.

До особливостей датчика можна віднести :

- двоосьовий вимірювач прискорення в одному корпусі;
- 5x5x2 мм надмініатюрний корпус;
- роздільна здатність на 60 Гц - 2 мг;
- низьке споживання струму: < 0.6 мА;
- прямий інтерфейс с недорогими мікроконтроллерами;
- налаштування ширини полоси пропускання одним конденсатором;
- однополярне живлення від 3 до 5.25 В.

На рис. 5 представлена спрощена схема акселерометра з аналоговим виходом ADXL204.

Частотний діапазон вихідного сигналу задається зовнішніми конденсаторами, які разом з внутрішніми резисторами (32кОм) утворюють фільтр нижніх частот. Порядок розрахунку вихідного фільтра описаний в документації на сайті виробника [2]. Для експериментальних досліджень було використано дві частоти: 500Гц для осі x та 50Гц для осі y.

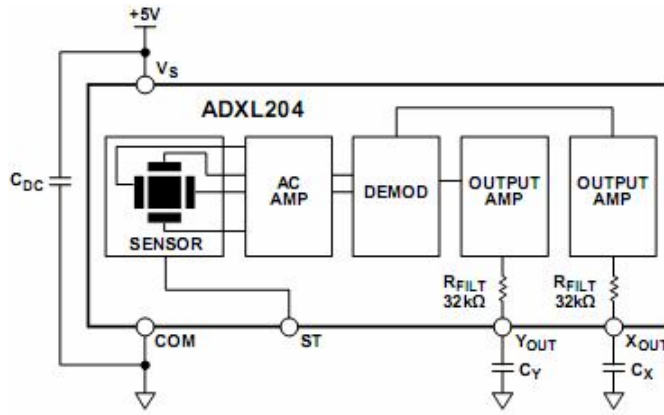


Рис. 5. Структурна схема акселерометра ADXL204

Для зчитування, попередньої обробки та передачі сигналів, що виходять з акселерометра, розроблена програма «AccelerationMK», яка написана на мові СІ в програмному середовищі EWARM.

Об’єктний код готової програми записується в мікроконтролер за допомогою програматора Jetlink5-20 автоматично, відразу після її компіляції. Даний програматор має вбудований модуль внутрішньосхемної відладки JTAG, який дозволяє налагоджувати програму, записану в контролер, безпосередньо в цільовій системі.

Алгоритм програми «AccelerationMK» забезпечує зчитування аналогового сигналу по двох каналах з частотою 1000Гц, перетворення величин дискретних замірів, з врахуванням передаточної характеристики акселерометра (620 мВ/г = 63,2 мВ / (м/с²)), та величини опорної напруги АЦП (3,3 мВ), і здійснює передачу розрахованих даних на ПК зі швидкістю 19200...115200 бод/с.

Мікроконтролер передає частково перетворені дані на ПК з заданою швидкістю передачі та визначеною довжиною пакета даних за допомогою інтерфейсу RS-232, що являє собою промисловий стандарт для послідовної двонаправленої асинхронної передачі даних. Ці дані складаються з 2-х двобайтних чисел a_x та a_y . Для визначення швидкості руху акселерометра необхідно проінтегрувати значення прискорень a_x та a_y за трапецеїдальним наближенням – запишемо [9]:

$$V_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_{x_{i-1}} + a_{x_i}}{2} \right) \cdot \Delta t; \tag{1}$$

$$V_y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_{y_{i-1}} + a_{y_i}}{2} \right) \cdot \Delta t;$$

де Δt – інтервал часу між двома значеннями прискорення, с.

Для отримання значень переміщення необхідно проінтегрувати значення швидкостей V_x та V_y :

$$S_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{V_{x_{i-1}} + V_{x_i}}{2} \right) \cdot \Delta t; \tag{2}$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{V_{y_{i-1}} + V_{y_i}}{2} \right) \cdot \Delta t.$$

Для обробки отриманих даних в реальному часі була створена програма «Acceleration», яка написана в програмному середовищі Delphi 7. Загальний вигляд її інтерфейсу зображено на рис. 6. Дана програма дозволяє прочитати дані, які передає мікроконтролер з відповідною швидкістю передачі та заданою довжиною пакета даних з COM порта комп’ютера. Вона також візуалізує отримані дані в числовому та графічному вигляді. А саме: буде графіки прискорень вздовж осей a_x та a_y ; буде графік, що покаже координати положення акселерометра. Для збереження інформації використовується експорт даних в пакет Microsoft Excel, з побудовою відповідних графіків, що дозволяє користуватися всіма додатковими можливостями цього популярного пакета для аналізу отриманих даних.

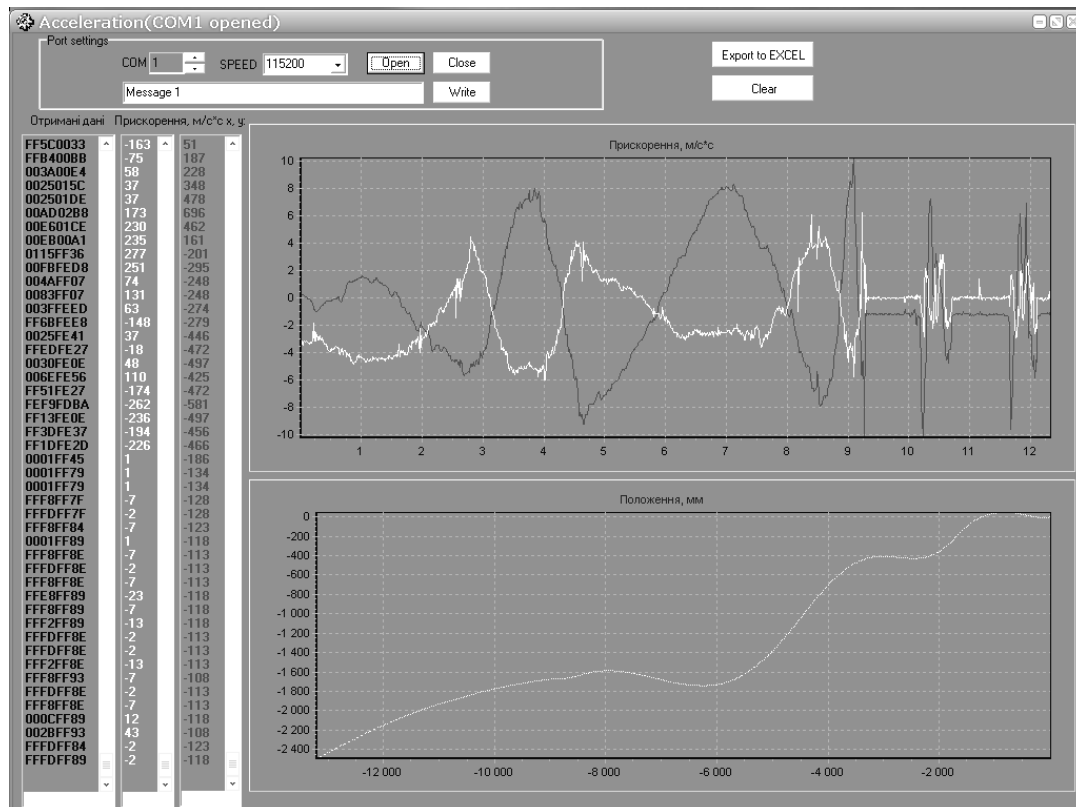


Рис. 6. Загальний вигляд вікна програми для обробки даних акселерометра

Висновки.

1. Застосування мікроконтролера значно покращує показники точності та сприяє подальшому розширенню функціональних можливостей програмно-апаратного комплексу.
2. Пристрій дозволяє визначати параметри процесів в реальному часі.
3. Створений програмно-апаратний комплекс дозволяє отримати характеристики:
 - кінетики та динаміки руху тіла у двовимірному просторі тіл;
 - процесів, що відбуваються при ударних навантаженнях;
 - будувати польові характеристики $a_x(t, x, y)$, $a_y(t, x, y)$, $V_x(t, x, y)$, $V_y(t, x, y)$, $S_x(t, x, y)$, $S_y(t, x, y)$.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ларионов Д. Акселерометры компании Analog Devices // Электронные компоненты. – 2005. – № 11. – С. 125–129.
2. <http://www.analog.com>
3. Полянский И. Применение акселерометров для различных приложений // Мир электронных компонентов. – 2003. – № 2. – С. 28–30.
4. Зубинский А. Микро-электро-механика // Компьютерное обозрение.
5. Грабар И.Г., Мельничук С.В., Иванченко В.М. Современные методы и средства сбора, сохранения и обработки информации на разных этапах создания подвески транспортных средств // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2007». – Т. 1. Транспорт. – С. 55–60.
6. <http://www.gaw.ru/pdf/AD/sensor/adx1/adx1202e.pdf>
7. http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Analog_Devices/sensor/axelerometr
8. Kathleen Kocks. On Track with MEMS. Avionics Magazine, January, 2006.
9. Пастушенко С.М., Підченко Ю.П. Вища математика: Довідник для студентів вищих навч. закладів: Навч. посібник. – 4-е вид. – К.: Діал., 2006. – 464.

ГРАБАР Іван Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Автомобілі і механіка технічних систем” Житомирського державного технологічного університету, проректор з науково-інноваційної роботи Житомирського національного агроекологічного університету.

Наукові інтереси:

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

ІВАНЧЕНКО Василь Миколайович – аспірант кафедри “Автомобілі і механіка технічних систем” Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- програмно-апаратні комплекси для вимірювань, обробки та збереження кінематичних та динамічних характеристик технічних систем.

ЛОМАКІН Володимир Олександрович – аспірант кафедри “Автомобілі і механіка технічних систем” Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- використання мікропроцесорних засобів для дослідження кінематичних та динамічних процесів в автомобілях;
- діагностика автомобілів.

Подано 03.01.2009

Грабар І.Г., Іванченко В.М., Ломакін В.О. Програмно-апаратний комплекс для експериментального дослідження полів прискорень.

Грабар И.Г., Иванченко В.Н., Ломакин В.А. Програмно-апаратний комплекс для експериментального дослідження полів ускорень.

Grabar I.G., Ivanchenko V.M., Lomakin V.A. Program-vehicle Complex For Experiment Research Bicomponent Of Acceleration.

УДК 531

Програмно-апаратний комплекс для експериментального дослідження полів ускорень / И.Г. Грабар, В.Н. Иванченко, В.А. Ломакин

Обоснована необхідність и предложен программно-апаратний комплекс для експериментального определения полів ускорень.

УДК 531

Program-vehicle Complex For Experiment Research Bicomponent Of Acceleration / I.G. Grabar, V.M. Ivanchenko, V.A. Lomakin .

It Is Well Founded Necessity And Offer Program-Vehicle Complex For Experimental Research Acceleration Fields.