

УДК 629.33.021:004.94

С.В. Хитриков

## МОБИЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТЕНДОВЫХ И НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Описывается измерительная система, предназначенная для проведения натурных испытаний узлов и агрегатов мобильных машин с целью проверки соответствия разработанного изделия нормам технического задания. Система спроектирована и изготовлена на современной элементной базе, которая позволила придать ей уникальные свойства: многоканальность, универсальность, синхронность и удаленное управление.*

### Введение

Использование компьютерных технологий в задачах проектирования автомобилей вызвало необходимость разработки электронных измерительных и управляющих комплексов для проведения стендовых и дорожных испытаний [1]. Представленная вниманию читателей работа посвящена разработке таких комплексов на основе современных достижений в области электроники. Прототипом данной системы является автоматизированная система виброиспытаний [2], разработанная в Институте технической кибернетики АН БССР с использованием стандарта КАМАК [3, 4].

Фирмы-производители современного измерительного оборудования предлагают большой выбор плат ввода-вывода и нормализаторов сигналов. Разнообразие форм-факторов и компоновки плат может поставить в тупик даже самых профессиональных разработчиков измерительного оборудования. Разработчики рассматриваемой измерительной системы взяли за основу оборудование компании ADVANTECH, что позволило им создать систему большой канальности с синхронизацией получаемой экспериментальной информации при минимальной стоимости одного измерительного канала и с высокой универсальностью в обслуживании различных типов датчиков. Разработанная мобильная система применяется при проведении дорожных и полигонных испытаний на плавность хода, управляемость и устойчивость, а также может быть использована для проверки степени нагруженности элементов конструкции разрабатываемого изделия.

В системе учтена возможность использования как аналоговых, так и цифровых датчиков, а также многоканальность измерений. Напряжение питания измерительной аппаратуры выполнено от бортовой сети мобильной машины.

### 1. Требования к системе и ее технические характеристики

Для проведения дорожных испытаний мобильная измерительная система должна обладать следующими свойствами:

- работоспособностью в условиях повышенных вибраций и при различных температурных изменениях;
- многоканальностью;
- универсальностью, т. е. независимостью от типов подключаемых датчиков (с условием, что датчики имеют выход по напряжению не более  $\pm 10$  В);
- возможностью:
  - подключения к бортовой сети питания автомобиля;
  - ввода параметров задания режима испытаний;
  - накопления больших массивов измерительной информации;
  - сохранения результатов испытаний и просмотра файлов предыдущих испытаний;
  - тарировки датчиков;
- иметь режим удаленного управления натурными испытаниями.

Исходя из этих требований была разработана и изготовлена измерительная система [5] с техническими характеристиками, приведенными в таблице.

Основные технические характеристики мобильной измерительной системы для проведения дорожных испытаний

Параметр	Значение
Напряжение питания	12–36 В
Аналоговые входы	64 канала
– разрядность АЦП	16 бит
– частота выборки, макс.	1 кГц
Диапазон входных напряжений (в зависимости от усилителя)	$\pm 10V$ ; $\pm 5V$ ; $\pm 2,5V$ ; $\pm 1,25V$ ; $\pm 0,625V$
Поканально программируемый коэффициент усиления	0,5, 1, 2, 4 и 8
Флеш-диск	6 Гбайт
Автокалибровка, программируемая схема запуска, память FIFO: 1024 байта для каждого канала, рабочий диапазон температур 0–60 °С	
Возможность подключения тензорезисторов и тензодатчиков по четырехпроводной схеме подключения	
Возможность подключения датчиков с токовым выходом, потенциальным и термопар	
Габаритные размеры, мм (ДхШхВ)	600x220x550
Вес, кг	≈ 45

## 2. Описание функционирования системы

Мобильная измерительная система (рис. 1) выполнена в алюминиевом корпусе, который закрывается ключом для ограничения к ней доступа. На передней панели находится дисплей и клавиатура, а также кнопка запуска, разъем USB и индикатор работы. Сверху корпуса располагаются пружинные клеммные колодки для подключения аналоговых и цифровых датчиков. По бокам корпуса расположены ручки для переноски и разъем для подключения к источнику питания.



Рис. 1. Внешний вид мобильной измерительной системы для проведения дорожных испытаний

Система построена на базе встраиваемого безвентиляторного промышленного компьютера с установленными в него PCI-платами аналогового и цифрового ввода (рис. 2).

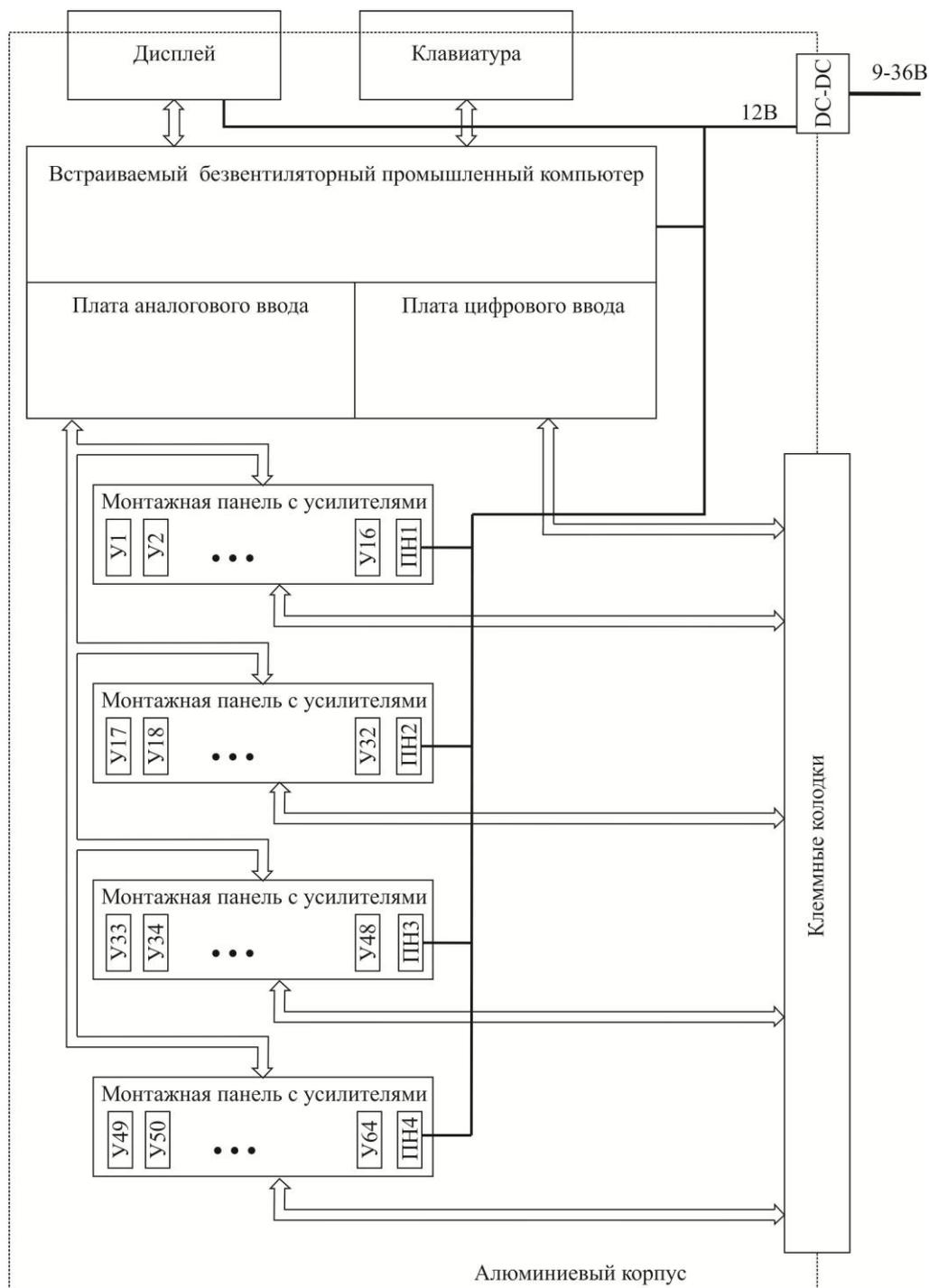


Рис. 2. Функциональная схема измерительной системы: У1-У64 – нормализатор сигнала; ПН1-ПН4 – преобразователь напряжения (12 В в +5 В); DC-DC – преобразователи напряжения (9–36 В в +12 В)

Промышленный компьютер содержит процессор Celeron 1,85 МГц, память 512 Мб, встроенный видеоконтроллер Intel 855 Graphics2 и различные интерфейсы: 2 PCI слота, 2×USB 2.0, 3×RS-232, 1×RS-232/422/485, 1×Parallel, 1×PS/2. Он изготовлен в алюминиевом корпусе с размерами 137x189x221 мм, весом 5 кг и температурным диапазоном от 0 до +60 °С. Промышленный компьютер имеет собственный преобразователь напряжения, позволяющий использовать напряжения питания в диапазоне от 9 до 32 В постоянного тока. В режиме дорожных испытаний среднеквадратическая вибрационная нагрузка

в полосе частот 5–500 Гц не должна превышать  $5g \text{ м/с}^2$ . Для защиты от скачков напряжения в бортовой сети автомобиля дополнительно установлен DC-DC-преобразователь, входное напряжение которого 12–36 В, а выходное – 12 В.

К промышленному компьютеру подключены платы аналогового и цифрового ввода. Плата аналогового ввода подсоединена к четырем шестнадцатиканальным стандартным монтажным панелям для установки нормализаторов (усилителей). Монтажные панели соединены с внешними клеммными колодками, находящимися на корпусе измерительной системы. Плата цифрового ввода непосредственно соединена с внешними клеммными колодками, расположенными на корпусе измерительной системы.

Измерительная система устанавливается в салоне кабины автотранспортного средства. Для снижения уровня вибрации она закрепляется на сиденье с использованием виброгасящего коврика. К системе подключаются все измерительные датчики (рис. 3) и подается напряжение питания 24 В от бортовой сети к специально выведенным контактам. Напряжение питания понижается с помощью DC-DC-преобразователя до +12 В, которые необходимы для работоспособности встраиваемого компьютера, монитора и нормализаторов. В монтажной панели нормализаторов установлен дополнительный преобразователь напряжения (ПН1-ПН4, см. рис. 2) из 12 В в +5 В для непосредственного их питания.

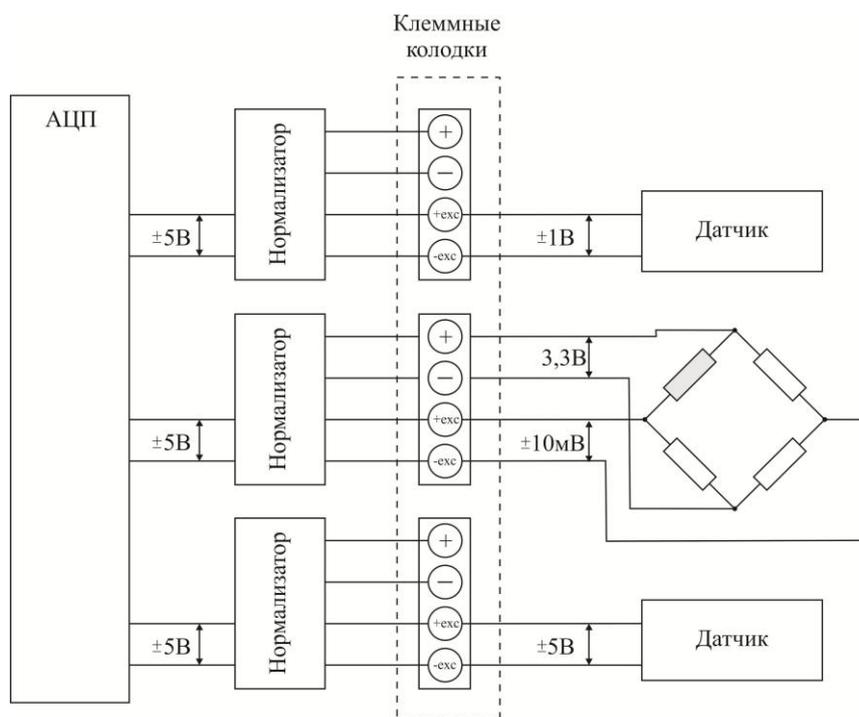


Рис. 3. Схемы подключения датчиков

### 3. Аппаратное обеспечение

В измерительной системе для подключения датчиков используются нормализаторы компании DATAFORTH, большое разнообразие которых позволяет подключать различные виды датчиков и гибко настраивать систему под проведение конкретных испытаний. В данной системе установлены нормализаторы с потенциальным входом  $\pm 1\text{В}$  в количестве 32 шт., нормализаторы для тензорезисторов с входом  $\pm 10\text{ мВ}$  в количестве 8 шт., остальные 24 канала замкнуты через монтажную панель, что позволяет сигналу от датчика непосредственно проходить без изменения в АЦП, т. е. выход датчика не должен превышать  $\pm 5\text{ В}$ . Всего в измерительной системе имеется 64 контактных разъема для подключения нормализаторов. Система

построена таким образом, что она не зависит от вида подключенных нормализаторов, дополнительной настройки (как аппаратной, так и программной) не требуется. В случае необходимости следует заменить нормализатор и провести тарировку датчика.

Все сигналы с нормализаторов подаются через клеммный адаптер и 68-контактный соединитель SCSI-II на плату аналогового ввода. Плата представляет собой 16-разрядное АЦП с максимальной частотой выборки до 250 кГц. Имеется 64 потенциальных или 32 дифференцированных канала. Кроме того, плата аналогового ввода имеет программируемый коэффициент усиления по каждому каналу и программируемую систему запуска измерений, что позволяет организовать синхронное измерение с датчиков.

Цифровые входы подключены через клеммный адаптер и 50-контактный соединитель SCSI-II к плате цифрового входа. Устройство представляет собой 64-канальную плату цифрового ввода с гальванической изоляцией, широким диапазоном входных сигналов (10–50 В постоянного тока) и возможностью работы по прерыванию. Платы поставляются с набором драйверов и библиотек, что значительно облегчает работу с ними.

Если подключить адаптеры 3G или Wi-Fi через разъем USB, появляется возможность работы с измерительной системой удаленно (рис. 4).

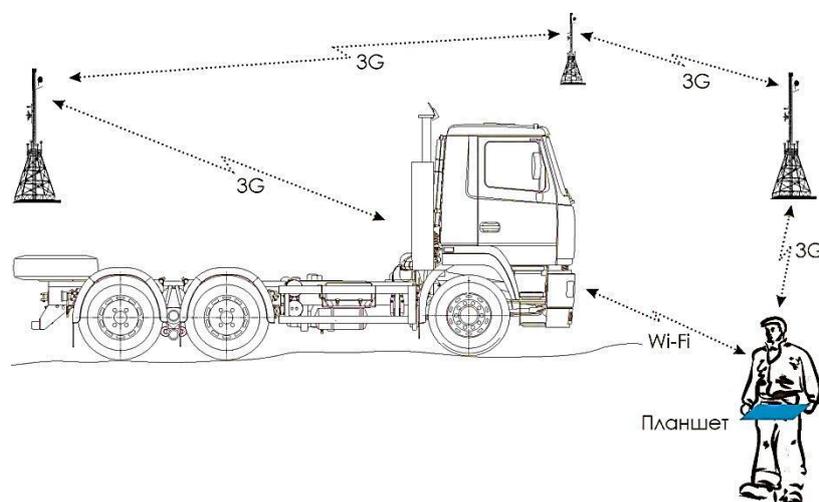


Рис. 4. Удаленное проведение испытаний

С помощью адаптера 3G (через Ethernet) оператор может, находясь в любой точке земного шара, проводить испытания (настраивать систему, получать, просматривать и сохранять результаты испытаний), используя мобильные устройства типа планшета. С помощью адаптера Wi-Fi оператор может управлять испытаниями с расстояния от 100 до 300 м в зависимости от места их проведения.

Единственным условием к мобильным устройствам для удаленных испытаний является наличие операционной системы Windows XP и выше, так как клиентская часть программы написана на Borland Delphi. Для работы с измерительной системой разработчики использовали планшет компании iRU с установленной на нем операционной системой Windows 7 и с адаптерами 3G и Wi-Fi.

#### 4. Программное обеспечение

Программное обеспечение разработано в среде Borland Delphi и работает под управлением ОС Windows XP. Использование ОС Windows XP позволяет легко обучиться работе с системой и не требует специальной подготовки оператора. Данное программное обеспечение зарегистрировано в Национальном центре интеллектуальной собственности (свидетельство № 368 от 30.11.2011 г.).

Взаимодействие программы с аппаратной частью осуществляется с использованием библиотек, с помощью которых плата АЦП настраивается на режим синхронной работы.

Это позволяет получать информацию по всем каналам одновременно, что необходимо для исследования динамики объекта испытания.

Основная особенность программного обеспечения – это использование мультимедийного таймера для соблюдения точного шага по времени. Данный таймер позволяет выдерживать точный шаг квантования по времени с точностью до 1 мс при работе платы АЦП в синхронном режиме.

При проведении испытания программа работает параллельно по двум потокам: один управляет работой измерительных плат с сохранением измеренной информации, второй реализует пользовательский интерфейс (реагирует на команды пользователя).

Первый поток производит:

- настройку каналов измерительных плат (активности, коэффициента усиления);
- предварительную обработку измеренной информации (нормирование сигналов);
- накопление измеренной информации в памяти.

Второй поток осуществляет следующие операции:

- создание экранных форм;
- отображение измеренной информации;
- построение графиков с возможностью их просмотра по всем каналам или выборочно;
- спектральный анализ измеренной информации (построение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик);
- сохранение измеренной информации.

На рис. 5 и 6 показаны формы программы управления измерительной системы и окна просмотра результатов измерения и обработки.

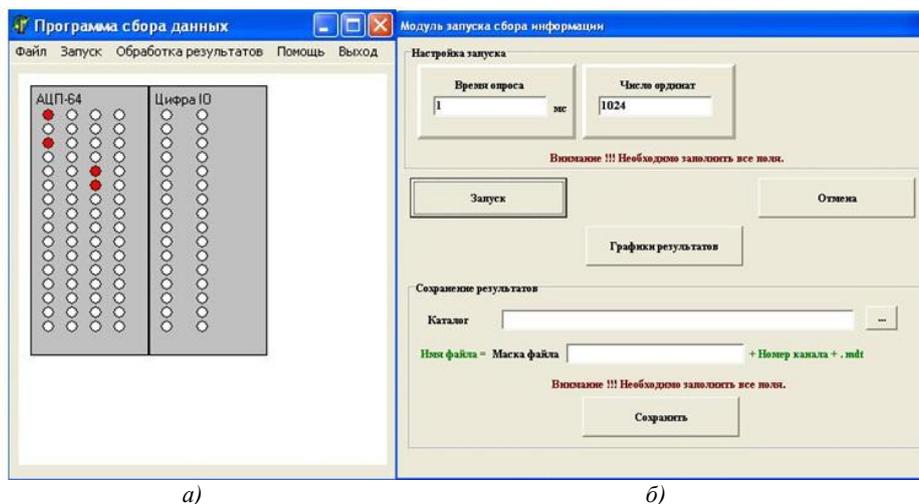


Рис. 5. Экранные формы программы измерительной системы: а) после настройки каналов измерения; б) после проведения измерений по каналам

Дружественный, простой и интуитивный интерфейс программы управления обеспечивает быструю настройку системы обработки под конкретные дорожные испытания.

Методы работы с использованием сети Wi-Fi и 3G принципиально не отличаются. Для управления измерительной системой используется любое бесплатное программное обеспечение для удаленного управления компьютером. Для работы в сети Wi-Fi использовалась программа TeamViewer, благодаря которой оператор получает доступ к компьютеру измерительной системы. После настройки соединения через программу TeamViewer оператор на экране планшета видит «клонированный экран» измерительной системы и имеет возможность удаленно осуществлять все действия, как будто находится непосредственно перед измерительной системой.

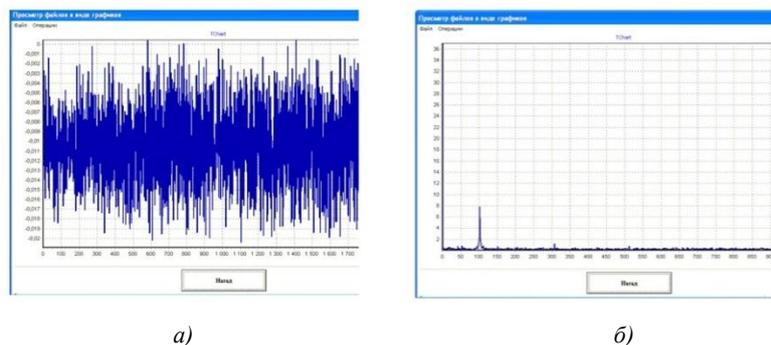


Рис. 6. Экранные формы программы измерительной системы: а) результатов измерения; б) обработки результатов измерения (амплитудно-частотная характеристика)

### Заключение

Натурные испытания являются источником информации для создания верифицированных компьютерных моделей, что позволит оптимизировать изделие по различным его свойствам. Важную роль в проведении натурных испытаний играет измерительная система, которая является источником объективной информации о процессах, протекающих в исследуемом изделии.

Описанная мобильная измерительная система разработана и изготовлена в Республиканском компьютерном центре машиностроительного профиля Объединенного института машиностроения НАН Беларуси. Данная система используется для проведения натурных испытаний многозвенных автопоездов на плавность хода, устойчивость и маневренность.

Разработанная измерительная система обладает рядом свойств, позволяющих проводить натурные испытания на высоком уровне:

- многоканальностью, обеспечивающей одновременное измерение от различных видов датчиков, что значительно сокращает время проведения натурных испытаний;
- универсальностью, обуславливающей большой выбор подключаемых датчиков в диапазоне  $\pm 10$  В, что также сокращает затраты времени на перекомпоновку и переналадку измерительной системы;
- синхронностью, благодаря которой достигается высокая точность анализа динамических характеристик исследуемого объекта;
- удаленным управлением, позволяющим не только управлять процессом натурных испытаний на расстоянии, но и проводить наладку измерительной системы, обработку и передачу экспериментальной информации.

Все эти свойства измерительной системы свидетельствуют о ее большой практической ценности.

### Список литературы

1. Технология моделирования динамики колебаний грузовых автомобилей с использованием стендовых и виртуальных испытаний / В.С. Кончак [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2011. – № 3. – С. 83–91.
2. Цифровая автоматизированная система тестирования объектов испытаний, анализа и обработки экспериментальных данных / П.М.Чеголин [и др.] // Автоматизация конструкторско-технологического проектирования : сб. науч. тр. – Минск : Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1985. – С. 4–11.
3. Система КАМАК. Последовательная магистраль интерфейсной системы : ГОСТ 26.201.2-94. – Введ. 01.07.96. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1995. – 72 с.
4. Система КАМАК. Организация многокрейтовых систем. Требования к магистрали ветвей и крейт-контроллеру КАМАК типа А1 : ГОСТ 26.201.1-94. – Введ. 01.07.96. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1996. – 28 с.

5. Мобильная многоканальная система для проведения стендовых и натурных испытаний / В.С. Кончак [и др.]. // Тез. докл. 7-й Междунар. конф. «Информационные технологии в промышленности». – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2012. – С. 151–152.

Поступила 18.11.2013

*Объединенный институт  
машиностроения НАН Беларуси,  
Минск, ул. Академическая, 12  
e-mail: krom\_hsv@bk.ru*

**S.V. Hitrikov**

**MEASURING MOBILE MULTI-CHANNEL SYSTEM  
FOR BENCH AND TRACK TESTS**

A measuring system is designed for full-scale testing of units and aggregates of mobile machines in order to verify their compliance with the standards defined by the product specification. The system is designed and manufactured using modern components, which provide unique properties: multi-channel, versatility, synchronicity and remote management.