

## ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЯГОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

**С.И. Овсянников, доцент, к.т.н., С.А. Шевченко, доцент, к.т.н.,  
В.Ф. Огильба, магистр ХНТУСГ**

*Аннотация.* Представлено анализ и состав измерительного комплекса для проведения тяговых испытаний тракторных агрегатов.

*Ключевые слова:* тракторный агрегат, тяговые испытания, измерительный комплекс, акселерометр, цифровой компас.

## ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТЯГОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

**С.І. Овсянніков, к.т.н., доц., С.А. Шевченко, к.т.н., доц.,  
В.Ф. Огільба, магистр ХНТУСГ**

*Анотація.* Наведено аналіз та склад вимірювального комплексу для проведення тягових випробувань тракторів.

*Ключові слова:* тракторний агрегат, тягові випробування, вимірювальний комплекс, акселерометр, цифровий компас.

## GROUNDING OF MEASURING COMPLEX STRUCTURE FOR LEADTHROUGH OF HAULING TESTS OF TRACTOR AGGREGATES

**S. Ovsyannikov, associate professor, cand. eng. sc.,  
S. Shevchenko, associate professor, cand. eng. sc., V. Ohilba master of sc. KhNTUA**

*Abstract.* An analysis and composition of measuring complex is resulted for the leadthrough of hauling tests of tractors.

*Key words:* tractor aggregates, hauling tests, measuring complex, accelerometer, digital compass.

### Введение

Исследования основаны на измерениях физических величин и оценке достоверности полученных данных. Стремительное развитие техники, технологий, приборов и компьютеров позволяет значительно упростить процесс измерения и обработки результатов, отображать одновременно несколько параметров в текущем режиме измерения, использовать полученные результаты измерений в системах автоматического управления

рабочими процессами, а также для оценки их технического состояния.

### Анализ публикаций

Современные исследователи стремятся оценить технические параметры и тяговые возможности не только по основным параметрам, таким как тяговое усилие, теоретическая и действительная скорости движения, расход топлива и т.п., но и продолжительность разгона, плавность хода, влияние неголономных связей на динамику движения машины или

агрегата [1,2]. Для оценки этих параметров применяются различные датчики и устройства. Но зачастую они применяются как отдельные элементы, не связанные в единый комплекс оценки машины во взаимосвязи источников внешних возмущений и внутреннего состояния системы.

### **Цель и постановка задачи**

Целью работы является обоснование и разработка измерительного комплекса для тяговых испытаний тракторных агрегатов. Для её достижения необходимо решить следующие задачи:

- обосновать состав измерительного комплекса для проведения тяговых испытаний тракторных агрегатов;
- обосновать применение датчиков в зависимости от задач исследований;
- разработать схему контроллера для приема сигналов от измерительного комплекса;
- разработать программу для регистрации и отображения результатов измерений.

### **Структура измерительного комплекса**

Для оценки тяговых и динамических параметров тракторных агрегатов минимально необходимо измерять следующие параметры:

- усилия, передаваемые через навесные и прицепные устройства (заднюю, переднюю, боковые);
- тяговые сопротивления орудий и их рабочих органов, усилия на органах управления и т.п.;
- крутящий момент на валах привода колес или ведущих звездочек, тормозных устройств, коленчатого вала двигателя, валов отбора мощности и т.п.;
- угловые скорости (частоту) вращения или угол поворота ведущих колес (звездочек); коленчатого вала двигателя, валов трансмиссии;
- величину линейного или пространственного перемещения агрегата;
- расход топлива;
- ускорения перемещений остова машины или его отдельных элементов в линейных направлениях или в пространстве.

Учитывая, что современные средства измерения основаны на электронной обработке сигнала, необходимо преобразовать измеряемые параметры в эквивалентную электрическую величину. Полученная электриче-

ская величина должна содержать всю информацию об измеряемом параметре [3]. Для преобразования измеряемой физической величины в эквивалентный сигнал электрической природы (заряд, ток, напряжение или импеданс), являющийся функцией измеряемой величины, применяют датчики.

Наиболее массовыми электрическими элементами для измерения силы являются резистивные и полупроводниковые тензометрические датчики, а также пьезоэлектрические преобразователи [3]. Тензометрический датчик измеряет силу косвенным методом - путем измерения деформации калиброванного элемента, вызванной действием силы.

Полупроводниковые тензодатчики используют пьезорезистивный эффект, возникающий в некоторых полупроводниковых материалах, таких как кремний [3]. Полупроводниковые тензомосты обладают в 30 раз большей чувствительностью чем металлофольговые, но выходной сигнал в значительной степени зависит от температуры и трудно поддается компенсации. Зависимость сопротивления от деформации носит нелинейный характер. Полупроводниковые тензодатчики целесообразно применять в случаях, где вариации температуры малы, а важна высокая чувствительность.

Пьезоэлектрические преобразователи силы применяются в тех случаях, когда сила имеет динамический характер (т.е. меняющаяся в измеряемом интервале времени, порядка нескольких миллисекунд) [3]. Фактически, пьезоэлектрические преобразователи являются преобразователями сдвига (смещения), и они часто используются как преобразователи силы, поскольку в упругих материалах сдвиг пропорционален приложенной силе.

На основе проведенного обзора для измерения сил и моментов при тяговых испытаниях рекомендуется применять датчики на основе тензометрических резисторов или полупроводниковых тензодатчиков.

Для измерения угловых перемещений малых величин рекомендуются датчики на основе дифференциальных трансформаторов с поворотным якорем [3]. Для измерения частоты вращения рекомендуется применять индуктивные (генераторные) датчики, в которых изменение неэлектрической величины вызы-

вает появление ЭДС. К генераторным датчикам относятся индукционные, термоэлектрические, пьезоэлектрические преобразователи, тахогенераторы и др. Нередко в одном корпусе объединяются собственно датчик и усилитель-преобразователь. При попадании в активную зону датчика любого металлического предмета, происходит изменение логического состояния выходного коммутирующего элемента датчика, в качестве которого может использоваться PNP или NPN транзистор или тиристор (при работе датчика на переменном токе).

Все чаще исследователи сталкиваются с необходимостью оценивать разгонные качества машины, колебания отдельных узлов и агрегатов. Для этого используют датчики ускорений – акселерометры. Акселерометры представляют собой датчики линейного ускорения и в этом качестве широко используются для измерения углов наклона тел, сил инерции, ударных нагрузок и вибрации. Современные технологии микрообработки позволяют изготовить акселерометры, имеющие малые габариты. К ним относятся пленочные пьезоэлектрические датчики ускорения, выполненные на основе многослойной пьезоэлектрической полимерной пленки. Многослойная пленка закреплена на подложке из окиси алюминия и к ней присоединена инерционная масса из порошкового металла. При изменении скорости движения датчика в результате действия инерционных сил происходит деформация пленки. Благо-

даря пьезоэффекту возникает разность потенциалов на границах слоев пленки, зависящая от ускорения. Чувствительный элемент датчика обладает чрезвычайно высоким выходным сопротивлением. Объемные интегральные акселерометры рекомендуется использовать как для измерения ускорений, так и для оценки кренов. Выходное напряжение акселерометра пропорционально синусу угла наклона оси его чувствительности относительно горизонта. В измерительном комплексе предлагается использовать трехосный акселерометр ADXL330.

Для оценки курсовой стойкости машины в горизонтальной плоскости (рыскание) предлагается использовать цифровой компас (рис. 1), состоящий из модуля магнитометра (компыаса) и альтиметра (высотомера) на основе пьезорезистивного датчика давления. Направление определяется по встроенному двухосевому магнитному датчику относительно магнитного меридиана. Данные передаются по интерфейсу I<sup>2</sup>C, что позволяет использовать модуль со всеми современными микроконтроллерами.

Для регистрации и отображения результатов тяговых испытаний разработана компьютерная система, структурная схема которой представлена на рис. 2. Электронный блок системы имеет модульную конструкцию. Базовой частью является плата с микропроцессором Atmega32-16PU – см. рис. 3.

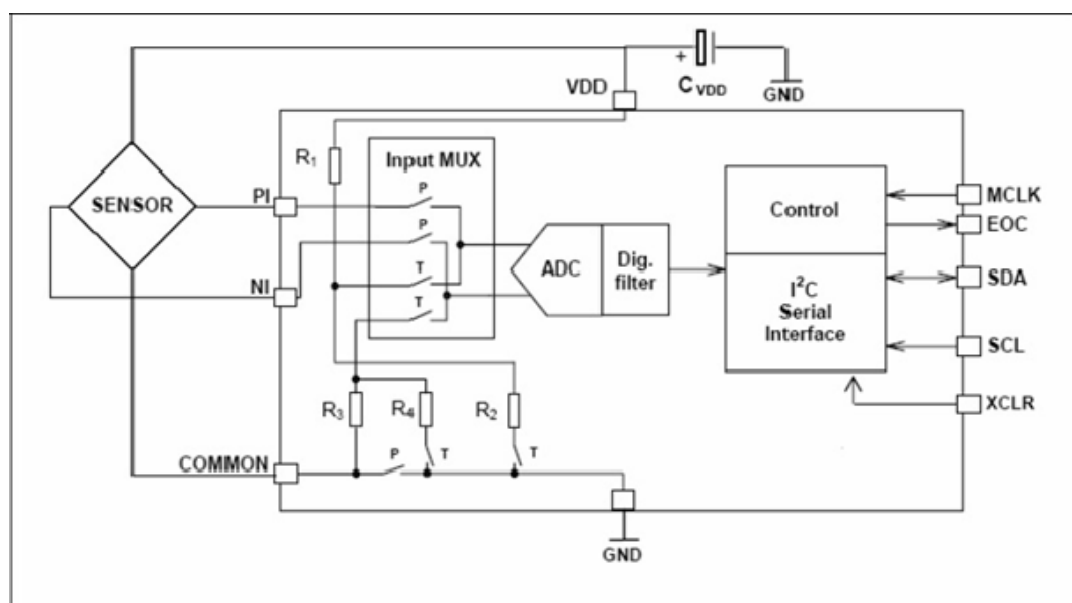


Рис. 1. Функциональная схема электронного компаса HDPM01

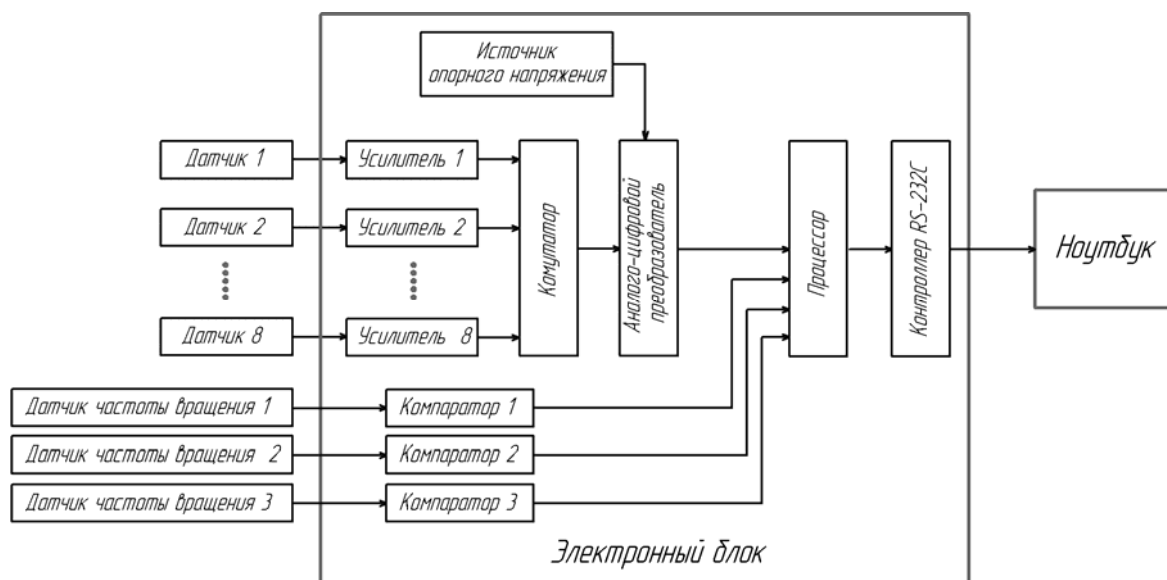


Рис. 2. Структурная схема компьютерной измерительной системы

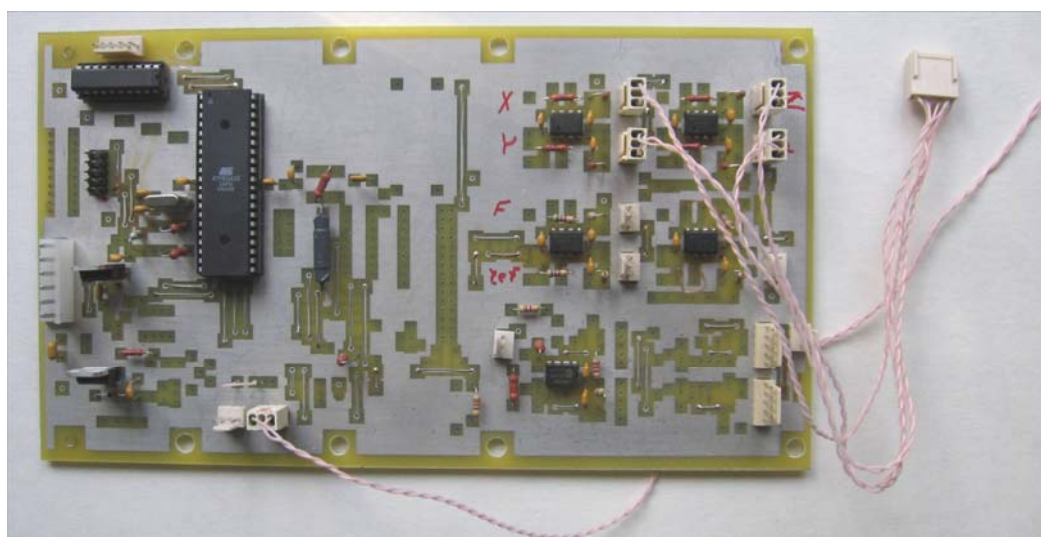


Рис. 3. Плата микропроцессора с усилителями и компараторами

Этот 8-разрядный микропроцессор имеет развитую RISC-архитектуру и полный набор периферийных устройств, необходимых для решения поставленных задач. Микропроцессор можно программировать непосредственно в составе электронного блока с помощью персонального компьютера, что упрощает разработку программного обеспечения. Микропроцессор работает с тактовой частотой 7,3728 МГц, избранной исходя из необходимости поддержки стандартизированных скоростей обмена данными в компьютерных системах [4].

Таймеры микропроцессора могут использоваться для ввода частотных сигналов от датчиков вращения валов (сигналы проходят

через компараторы – пороговые схемы с петлей гистерезиса, необходимые для предотвращения возникновения ошибок от помех). На плате процессора размещены 8 усилителей, которые используются для ввода стандартизированных сигналов 0...10 В, 0...5 мА, 0...20 мА и 4...20 мА. Для подключения датчиков с нестандартными выходными сигналами к плате процессора могут присоединяться специализированные платы (в частности – плата с инструментальными усилителями для подключения тензодатчиков).

Ввод сигналов от тензодатчиков имеет определенную особенность, которую рассмотрим детальнее. Поскольку сигнал тензодатчика пропорционален напряжению питания (кото-

рое может изменяться в зависимости от количества присоединенных датчиков и температуры воздуха), то измерения обычно осуществляют по логотрической схеме – то есть, используют указанное напряжение питания в качестве источника опорного напряжения аналого-цифрового преобразователя. Однако такое решение затрудняет ввод выше указанных стандартизованных сигналов. Поэтому в плате процессора используется высокоточный источник опорного напряжения, а фактическое значение напряжения питания тензодатчиков измеряется с помощью одного из каналов АЦП.

Накопление, преобразование и передача информации происходят в такой последовательности. Во-первых, на протяжении измерительного цикла (его продолжительность определяется при помощи таймера) происходит многократное измерение сигналов датчиков. Для этого коммутатор поочередно подключает аналого-цифровой преобразователь к каждому из усилителей сигналов датчиков. Результаты измерений сигналов каждого датчика накапливаются; для каждого датчика отдельно учитывается количество измерений, выполненных с начала цикла.

Во-вторых, по окончании времени, отведенного на измерительный цикл, вычисляются средние значения сигнала каждого датчика. Такое усреднение значительно уменьшает влияние как внешних, так и внутренних шумов и помех (помехи от других функциональных узлов и ноутбука, а также помехи, создаваемые электрической сетью машины).

В-третьих, осуществляется преобразование результатов усреднения в текстовую форму для удобства передачи, просмотра, накопления и дальнейшей обработки. А именно, формируется строка символов, в которой результаты усреднения исходных сигналов датчиков отделяются друг от друга символами табуляции. Строка завершается, как это принято в наиболее распространенных операционных системах, символами CR (“возврат каретки”) и LF (“переход на новую строку”). При просмотре в текстовом редакторе результаты будут сгруппированы в столбцы фиксированной ширины независимо от значений, которые в них содержатся. Передача данных в ноутбук осуществляется по последовательному каналу связи, выполненному согласно стандарту RS-232C [4] (при

необходимости, применяется преобразователь сигналов RS-232C/USB). Ноутбук осуществляет накопление, обработку и представление информации в удобной для анализа форме. С помощью этой компьютерной системы осуществлялись, например, исследования рельефа лесных почв [5] на основе блока акселерометра. Для отображения результатов измерений на экране компьютера и регистрации в памяти используются программа LabView фирмы National Instruments.

## Выводы

Разработанная многоканальная измерительная система является достаточно универсальной и может применяться, при условии комплектования соответствующими датчиками, для испытаний и оценки различных параметров тракторов и самоходных машин в динамических процессах движения с возможностью регистрации и вывода полученных результатов на монитор компьютера.

## Литература

1. Александров Е.Е. Многоканальные системы оптимального управления / Е.Е.Александров, Б.И. Кузнецов, И.Н. Богаенко, Н.А. Рюмштин и др. – К.: Техника, 1995. – 281 с.
2. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных машин / Д.Н. Саакян. – М.: Агропомиздат, 1988. – 415 с.
3. Аш Ж. Датчики измерительных систем / Ж.Аш, П.Андре, Ж.Бюффон, П.Дегур и др. // В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992. – 480 с., ил.
4. Гук М. Аппаратные средства IBM PC / М. Гук. -СПб.: Питер, 1996. -224 с.
5. Овсянников С.И. Анализ измерительных систем для определения параметров поверхности движения самоходных машин / С.И. Овсянников, С.А. Шевченко, Е.А. Мостепанюк // Сборник научных трудов. Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте. - Воронеж: ГОУ ВПО "ВГЛТА", 2009. - Вып. 4. - С. 150-155.

Рецензент: А.Б. Богаевский, доцент д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2011 г.