

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО

УДК 629.33

DOI: 10.46960/1810-210X_2020_4_90

И.В. Басманов¹, Н.С. Вольская¹, А.Ю. Захаров¹, И.В. Чичекин¹, К.А. Чутков²

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДОВОДОЧНЫХ ДОРОЖНО-ГРУНТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана¹
Военный учебно-научный центр Сухопутных войск²

Рассмотрена возможность решения проблемы совмещения организации и проведения научно обоснованных доводочных испытаний малогабаритных транспортных средств. Предложен принцип практического решения задачи «грунтовой эксперимент в условиях испытательного полигона – выбор измерителей динамической нагрузки в трансмиссии и ходовой части малогабаритного транспортного средства, проведение экспериментов». Приведены результаты апробации работы мобильной автономной информационно-измерительной системы. По результатам исследования предложены решения двух задач: 1) разработка план-проекта испытательного грунтового автополигона заданной площади с целью экспериментальной оценки нагрузочных режимов элементов конструкции транспортных средств; 2) выбор вида и технических характеристик элементов измерительной аппаратуры для базового мобильного объекта испытаний (транспортного средства).

Ключевые слова: грунтовой полигон, информационно-измерительная система, доводочные испытания, научные исследования, малогабаритное транспортное средство.

Введение

В настоящее время существует необходимость разработки информационно-измерительного комплекса, включающего грунтовой полигон и автономную мобильную информационно-измерительную систему (ИИС). Целью его создания является разработка и метрологическое обеспечение системы доводочных испытаний малогабаритных транспортных средств в условиях грунтового полигона.

Задачи исследования:

- 1) разработка архитектуры измерительного комплекса, позволяющего в условиях дорожных испытаний определять динамику нагружения трансмиссии и ходовой части на примере малогабаритного транспортного средства;
- 2) определение набора измерителей, необходимых для экспериментальной оценки кинематики и силовой нагруженности трансмиссии и ходовой части ТС;
- 3) выбор мест установочных баз измерительного оборудования;
- 4) обеспечение возможности проведения ходовых испытаний на разных типах грунтов при контроле их физико-механического состояния.

Предварительно проведены на местности дорожно-грунтовые испытания снегоболотохода, оборудованного информационно-измерительной системой (ИИС) [1-3]. Результаты замера нагруженности рассматриваемых элементов трансмиссии и ходовой части снегоболотохода оказались положительными. Представлена оценка перспективности использования результатов измерений проведенных испытаний.

Проект архитектуры измерительного комплекса

Для проведения доводочных испытаний ТС, предназначенных для движения вне дорог с усовершенствованным покрытием, возможны три пути практического решения: испытания на центральном автополигоне (НИЦИАМТ ФГУП И ГНЦ НАМИ), на заводском полигоне предприятия изготовителя ТС и на специальном грунтовом полигоне [4, 5].

Рассмотрим третий вариант – план-проект небольшого грунтового полигона. Его трассы и лабораторный комплекс предназначены для совместного научно-исследовательского и экспериментального решения конкретных конструкторских задач при проектировании и доводке ТС. Определим структуру и принципы формирования мобильной ИИС, установленной на малогабаритном ТС (снегоболотоходе) [4]. На рис. 1 представлен проект грунтового полигона площадью 1,8 Га. Прямолинейные и криволинейные участки трасс полигона имеют в качестве опорной поверхности разные по типу грунты [6-11]. В условиях дорожных испытаний с помощью системы автономной регистрации определяется и исследуется влияние динамического нагружения на элементы трансмиссии и ходовой части малогабаритного ТС. В качестве такого ТС выбран снегоболотоход РМ-650. При проведении ходовых испытаний предлагается учитывать влияние неоднородности и механического состояния типов грунтов пересеченной местности на трассах (в условиях смены климатической температуры и влажности опорной поверхности в течение календарного года) на показатели опорно-тяговой проходимости ТС [5].

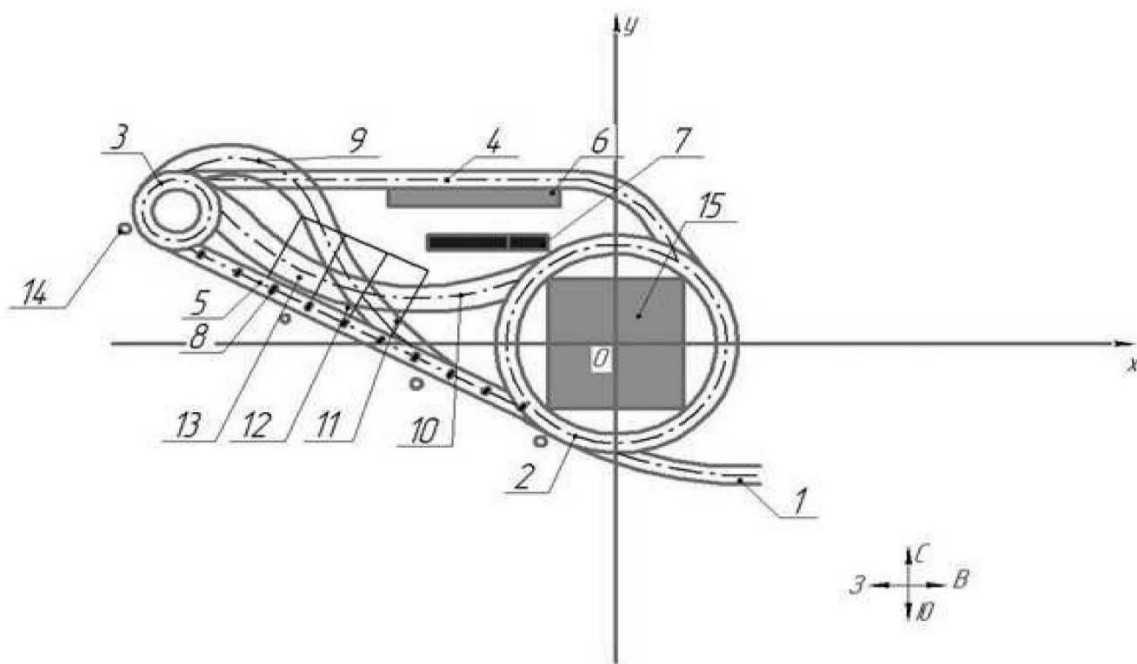


Рис. 1. План-проект грунтового полигона

На рис. 1 показаны: 1 – въезд на полигон; 2, 3 – кольцевые участки дороги с постоянными радиусами (6 м, 25 м); 4, 5, 6 – прямолинейные участки кольцевой дороги; 7 – бассейн; 8 – съемные пирамидальные выступы; 9 – участок с постоянным радиусом $R = 20$ м; 10 – грунтовые криволинейные участки заданных радиусов (глина, луговина, песок); 11 – участок поверхности – суглинок; 12 – участок поверхности – луговина; 13 – участок поверхности – песок; 14 – фонарные столбы (для освещения территории); 15 – специальные грунтовые каналы.

Система автономной регистрации режимов движения транспортного средства

Информационно-измерительная система размещена на снегоболотоходе РМ – 650. На рис. 2 представлен внешний вид ТС. Его технические характеристики приведены в табл. 1. Передний багажник снегоболотохода загружен массой 40 кг, задний багажник загружен массой 160 кг (80 кг – имитация нагрузки перевозимого груза, 80 кг – имитация веса пассажира).



Рис. 2. Снегоболотоход РМ 650

Таблица 1

Технические характеристики РМ 650

Тип двигателя	Четырехтактный ДВС
Рабочий объем, см ³	622
Максимальная мощность, л.с.	42,5
Топливо	АИ92
Объем топливного бака, л	24
Скорость, км/ч	85
Коробка передач	Механическая с вариатором
Привод	2/4WD, электрическая блокировка дифференциала
Колесная формула	4x4
Подвеска	Независимая двухрычажная поперечная с гидравлическими амортизаторами
Ход подвески, передняя/задняя, мм	170/195
Колея передних/задних колес, мм	965/914
Минимальный дорожный просвет, мм	290
Количество мест	2
Габаритные размеры: Д/Ш/В, мм	2320/1245/1255
Сухая* масса, кг	375
Шины размер передние/задние	26x8-14/26x10-14
Макс. нагрузка на передний багажник, кг	40
Макс. нагрузка на задний багажник, кг	80
Макс. масса буксируемого груза, кг	250

В табл. 2 перечислены установленные на снегоболотоходе РМ 650 средства измерения кинематических и силовых параметров движения ТС фирмы ZET LAB.

Таблица 2

Список регистрируемых параметров

№	Тип преобразователя	Первичный датчик	Физическая величина
1	ZET 210	Датчик Холла в двигателе	Обороты двигателя
2	ZET 210	Датчик Холла заднего редуктора	Обороты редуктора заднего моста
3	ZET 7180-V	Датчик Холла, установленный на раме в зоне передней левой подвески ВБУ-М08-48У-2122-3	Обороты левого переднего колеса
4	ZET 7180-V	Датчик Холла, установленный на раме в зоне передней правой подвески ВБУ-М08-48У-2122-3	Обороты правого переднего колеса
5	ZET 7111	Тензорезисторы ВА200-5АА-А150(11)-ВХ, установленные на амортизатор и подключенные по мостовой схеме	Нагрузка переднего левого амортизатора
6	ZET 7111	Тензорезисторы ВА200-5АА-А150(11)-ВХ, установленные на амортизатор и подключенные по мостовой схеме	Нагрузка переднего правого амортизатора
7	ZET 7111	Тензорезисторы ВА200-5АА-А150(11)-ВХ, установленные на амортизатор и подключенные по мостовой схеме	Нагрузка заднего левого амортизатора
8	ZET 7111	Тензорезисторы ВА200-5АА-А150(11)-ВХ, установленные на амортизатор и подключенные по мостовой схеме	Нагрузка заднего правого амортизатора
9	ZET 7111	Тензорезисторы 2ФКП-5-400, установленные на рулевой вал и подключенные по мостовой схеме	Нагрузка рулевого вала на кручение
10	ZET 7180-V	Переключатель	Кнопка определения испытания во времени
11	ZET 7180-V	Акселерометр ВС 201 S/N 1277	Вертикальные ускорения в зоне крепления переднего левого амортизатора
12	ZET 7180-V	Акселерометр ВС 201 S/N 1268	Вертикальные ускорения в зоне крепления переднего правого амортизатора
13	ZET 7180-V	Акселерометр ВС 201 S/N 1273	Вертикальные ускорения в зоне крепления заднего правого амортизатора
14	ZET 7180-V	Акселерометр ВС 201 S/N 1267	Вертикальные ускорения в зоне крепления заднего левого амортизатора
15	ZET 7152-N	Цифровой акселерометр ZET 7152-N VER.1	Ускорения центра масс
16	ZET 7160-E	Инкрементный угловой преобразователь ЛИР-158АТ 1000-05-ПИ	Ход передней левой подвески
17	ZET 7160-E	Инкрементный угловой преобразователь ЛИР-158АТ 1000-05-ПИ	Ход передней правой подвески

Окончание табл. 2

18	ZET 7160-E	Инкрементный угловой преобразователь ЛИР-158АТ 1000-05-ПИ	Ход задней левой подвески
19	ZET 7160-E	Инкрементный угловой преобразователь ЛИР-158АТ 1000-05-ПИ	Ход задней правой подвески
20	ZET 7160-E	Инкрементный угловой преобразователь ЛИР-158АТ 1000-05-ПИ	Угол поворота рукоятки газа
21	ZET 7160-E	Инкрементный угловой преобразователь BOURNS ENS1J-B28-L00256L 1720M-MFX	Угол поворота рулевого вала

Во время движения фиксируются 20 параметров, характеризующих работу двигателя, заднего моста, движителя, подвески и системы управления ТС [4, 5, 8, 10, 12]. Информация от первичных датчиков преобразуется с помощью АЦП. Преобразованные данные параметров сохраняются на компьютере, установленном на снегоболотоходе. В системе автономной регистрации режимов движения используются следующие типы первичных преобразователей.

Тензорезисторы ВА200-5АА-А150(11)-ВХ – измеритель напряжения на поверхности материалов. Датчики подключены по мостовой схеме (два тензорезистора – измерительные, два резистора – термокомпенсирующие). Используются для определения величины усилий, возникающих в амортизаторах при движении.

Тензорезисторы 2ФКП-5-400 – измеритель напряжения на поверхности материалов. Датчики подключены по мостовой схеме (все резисторы – измерительные). Используются для определения величины крутящего момента на рулевом валу при движении снегоболотохода.

Акселерометры ВС 201 – измерители линейных ускорений. Используется для определения вертикальных ускорений в четырех точках крепления амортизаторов к раме ТС.

Акселерометр ZET 7152-N – трехкомпонентный датчик ускорений, измерение производится по трем осям. Используется для определения ускорений в центре масс снегоболотохода.

Инкрементный угловой преобразователь ЛИР-158АТ 1000-05-ПИ – оптоэлектронный преобразователь угловых перемещений. Используется для определения углового хода нижних рычагов подвески и угла поворота рычага газа. Согласованность угла перемещения рычага и вала датчика обеспечивается использованием системы рычажков, образующих трапецию.

Инкрементный угловой преобразователь BOURNS ENS1J-B28-L00256L 1720M-MFX – оптоэлектронный преобразователь угловых перемещений. Используется для определения угла поворота рулевого вала.

Датчик Холла ВБУ-М08-48У-2122-3 – индуктивный датчик оборотов, основанный на принципе Холла. Используется для определения частоты вращения передних колес ТС.

Данные, полученные с первичных преобразователей, переводятся из аналогового сигнала в цифровой с помощью цифровых преобразователей (табл. 2):

1) АЦП ЦАП ZET 210 – датчика оборотов заднего редуктора и датчика оборотов двигателя;

2) ZET 7111 – используется для работы совместно с тензорезисторами (тензомостами) для определения нагрузок с амортизаторов и рулевого вала;

3) ZET 7180-V – используется для преобразования сигнала с датчиков ускорений ВС 210 и датчиков Холла ВБУ-М08-48У-2122-3;

4) ZET 7160-E – цифровой энкодер преобразует аналоговые сигналы от угловых преобразователей и высчитывает угол поворота вала датчика. Используется для преобразования

сигнала от ЛИР-158АТ 1000-05-ПИ и от BOURNS ENS1J-B28-L00256L 1720M-MFX в значения угла поворота вала датчика;

5) ZET 7152-N – трехкомпонентный датчик ускорений, измерение по трем осям; используется для определения ускорений в центре масс снегоболотохода;

6) ZET 7176 – преобразователь интерфейса передает цифровые сообщения по шине, к которой подключены цифровые преобразователи на компьютер. Интерфейс подключения Ethernet RJ-45. В результате, элементы мобильной измерительной системы собраны в защищенные от воздействия случайных факторов блоки и установлены на ТС (рис. 3).



Рис. 3. Мобильная автономная система на базе снегоболотохода

Представим примеры результатов испытаний, которые проводились с целью апробации и отладки разработанного измерительного комплекса. При этом используемые датчики были разделены на несколько групп:

1) с помощью инерционных датчиков - измерялись ускорения (рис. 4);

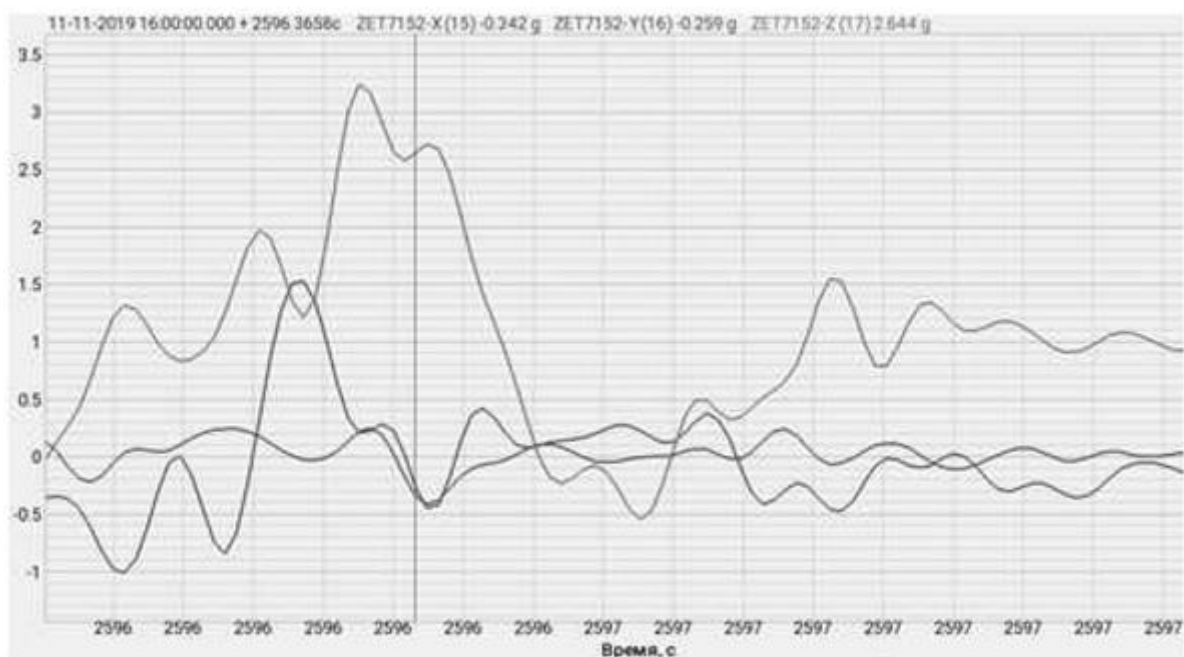


Рис. 4. Графики ускорений центра масс

2) с помощью угловых датчиков перемещений – проводилась фиксация угловых перемещений рычагов подвески и ручки газа, угла поворота рулевого вала (на рис. 5 приведен график угловых перемещений переднего левого рычага при прыжке с трамплина);

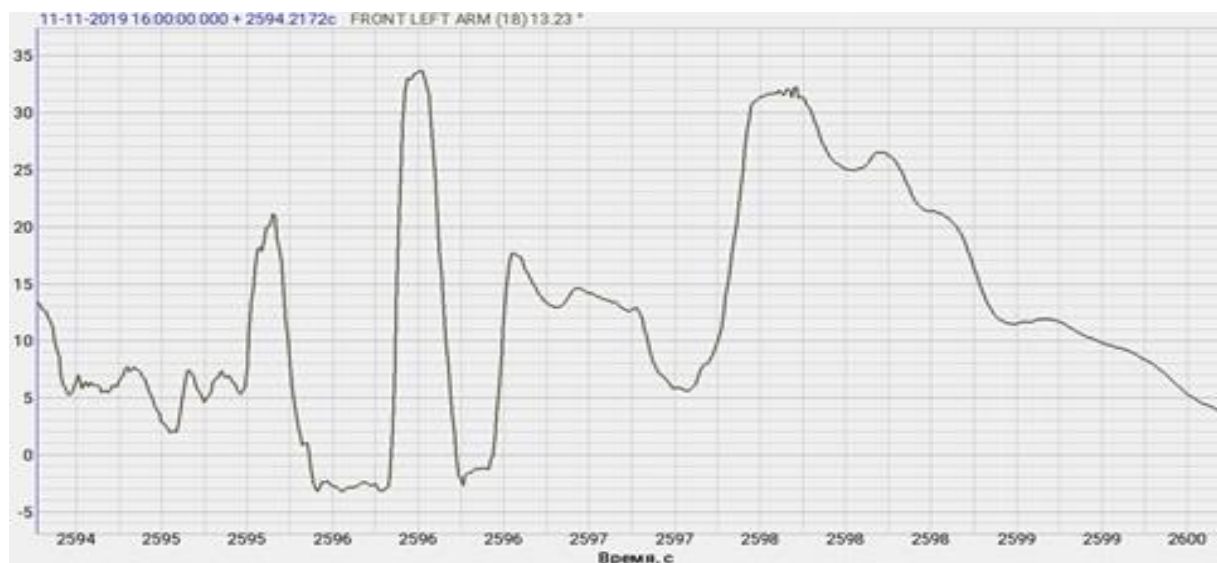


Рис. 5. График положения рычага подвески

3) индуктивные датчики – для фиксации углов поворота колес и валов (рис. 6), возможно подключение штатных индуктивных датчиков;

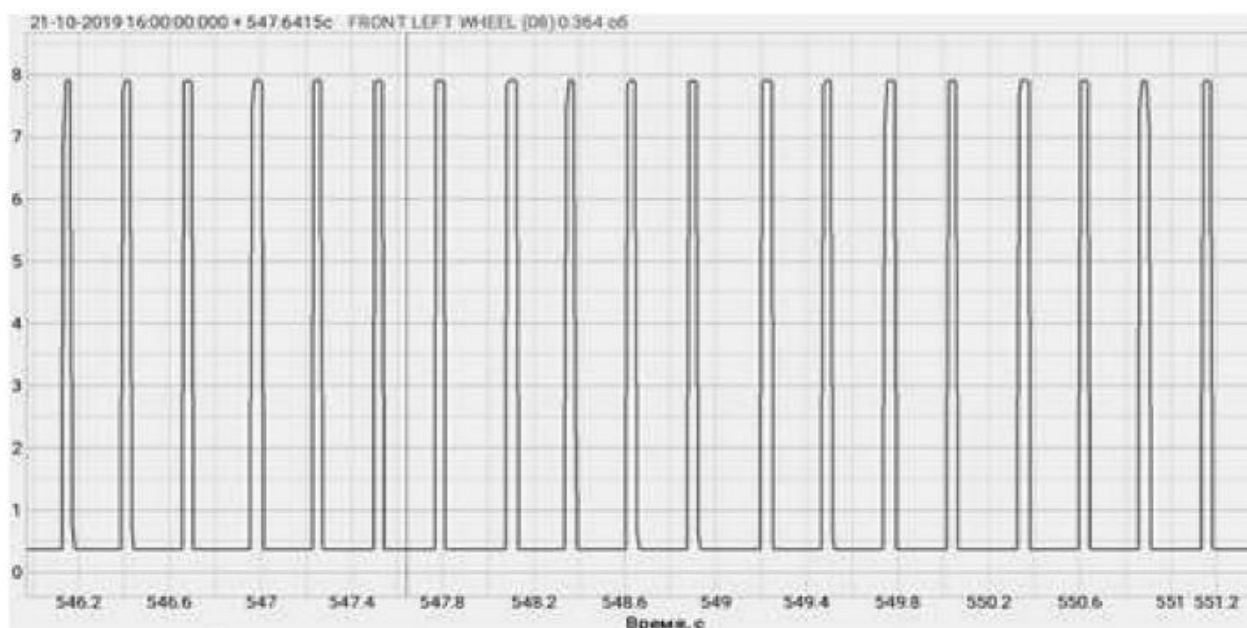


Рис. 6. График импульсов индуктивного датчика

4) датчики нагрузки – использование в качестве датчиков нагрузки на амортизаторах и рулевом валу, полученные значения возможно перевести в напряжения и микродеформации. Возможна установка датчиков на приводные валы, что позволяет определять подводимый к колесу крутящий момент. На рис. 7 изображено применение тензометрии на приводном валу автомобиля МЗКТ посредством радиоканала и график изменения нагрузки (рис. 8).



Рис. 7. Применение тензометрии на приводном валу

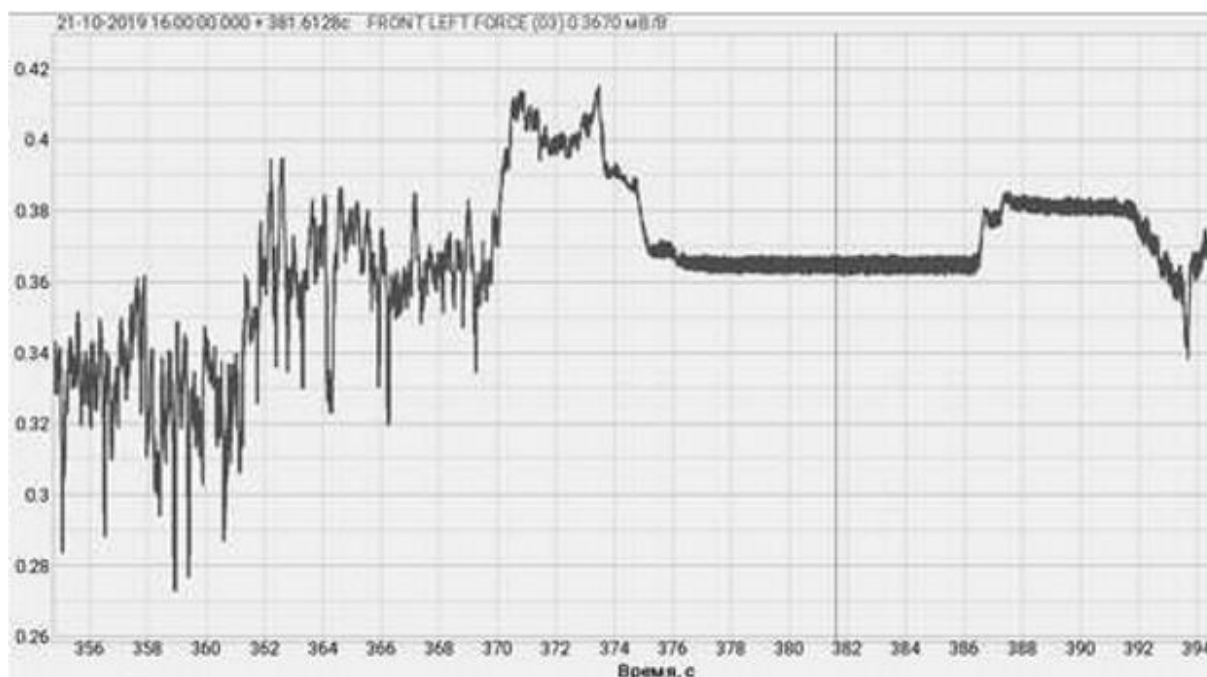


Рис. 8. График изменения нагрузки

Преимущества системы автономной регистрации режимов

Одним из преимуществ рассматриваемой автономной системы является возможность проведения измерений без разрушения и изменения самих узлов ТС. Это позволяет проводить динамические испытания отдельных узлов и агрегатов. Определять возникающие нагрузки и напряжения, сохраняя конструкцию, что положительно сказывается на достоверность получаемой оценки результатов испытаний. К этой же системе относятся датчики созданные на основе тензометрии. Такими являются датчики нагрузки на амортизаторах и датчик крутящего момента на рулевом валу.

При необходимости возможна установка датчиков микродеформаций (тензорезисторов) на другие элементы подвески, несущей системы, элементы трансмиссии. Также возможна установка датчиков крутящего момента на приводных валах посредством радиоканалов. Получаемые значения после тарирования могут быть пересчитаны как нагрузка и напряжения.

Второе преимущество системы – возможность проведения измерений в критических узлах; проведение оценки не только кинематических параметров, но и прочностных. Третьим преимуществом системы является ее мобильность. В кратчайшие сроки возможна установка системы на другое ТС. Примером этого преимущества является временная установка системы на снегоход РМ Vector 1000 (рис. 9).



Рис. 9. Пример разработанной установки ИИС на снегоход РМ Vector 1000

Таким образом, существуют широкие возможности использования данной системы на любых других транспортных средствах.

Электропитание

Рассмотрим работу систему электроснабжения ИИС. В процессе ее использования были выявлены некоторые особенности и недостатки.

Основным требованием системы является необходимость обеспечения ее стабильного питания. Компоненты системы снабжены собственными стабилизаторами и преобразователями напряжения, питающимися переменным током напряжением 220 В. Сами компоненты системы работают на постоянном токе, но при разных напряжениях. Также для работы системы необходим переменный ток напряжением 220 В для подключения монитора. Таким образом, существует необходимость обеспечения переменным током с напряжением 220 В для работы всей системы. Эта возможность достигнута за счет подключения инвертора к бортовой системе ТС. В процессе эксплуатации было выявлено, что данная схема подключения не обеспечивает надежного питания системы. Большие перепады напряжения бортовой системы и наводки системы зажигания приводят к сильным шумам некоторых датчиков. Также бортовая система снегоболотохода не обеспечивает потребной мощности системы.

Эта проблема была решена путем подключения инвертора к тяговому гелиевому аккумулятору. Полностью заряженного аккумулятора объемом 100 А•ч и напряжением 12 В хватает на обеспечение трех часов непрерывной и стабильной работы системы.

Такой тип подключения накладывает ограничения на время автономной работы, но позволяет устанавливать систему на различные ТС без переделки системы питания. Поэтому, систему возможно установить на транспортные средства, не снабженные бортовой сетью (оснащенные магнето), что делает систему универсальной.

Выводы

1. Разработан план-проект грунтового полигона, где в течение года можно проводить натурные эксперименты по оценке нагруженности основных узлов и агрегатов малогабаритного ТС.

2. На полигоне обеспечивается возможность определения измерителей опорно-тяговой проходимости ТС при движении по грунтам с фиксированием и оценкой их физико-механического состояния.

3. Разработана мобильная автономная информационно-измерительная система, которую можно установить на испытываемое колесное транспортное средство. Эта измерительная система позволяет оценивать динамику нагружения основных элементов трансмиссии и ходовой части. Одним из преимуществ данной системы является возможность проведения измерений без разрушения и изменения узлов транспортного средства.

4. Разработанная архитектура испытательного дорожного комплекса позволяет объединить цели и задачи научных исследований с процессом дорожных и грунтовых испытаний. Это повысит эффективность доводочных испытаний новых конструкций малогабаритных транспортных средств.

Библиографический список

1. ГОСТ 32571-2013 Снегоболотоходы колесные малогабаритные. Требования безопасности и методы испытаний.
2. ГОСТ Р ИСО 15622-2017 Интеллектуальные транспортные системы. СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО КРУИЗ-КОНТРОЛЯ. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытания.
3. **Кравец, В.Н.** Измерители эксплуатационных свойств автотранспортных средств: учеб. пособие Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева / В.Н. Кравец. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород, 2014. – 157 с.
4. **Клубничкин, В.Е.** Экспериментальная оценка скоростных и тормозных свойств снегоходов отечественного производства / В.Е. Клубничкин, А.С. Дьяков, Е.Е. Клубничкин, А.Ю. Захаров, А.Б. Карташов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 8 с.
5. **Клубничкин, В.Е.** Экспериментальная оценка скорости и тормозных свойств квадроциклов отечественного и зарубежного производства / В.Е. Клубничкин, А.С. Дьяков, Е.Е. Клубничкин, А.Ю. Захаров, У.Ш. Вахидов, А.С. Сученина, И.В. Басманов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 7 с.
6. **Ларин, В.В.** Теория движения полноприводных колёсных машин: учебник / В.В. Ларин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 391 с.
7. **Volskaya, N.S.** Mathematical model of rolling an elastic wheel over deformable support base / N.S. Volskaya, M.M. Zhileykin, A.Y. Zakharov // IASF-2017. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 315 (2018) 012028 doi: 10.1088/1757-899X/315/1/012028
8. **Макаров, В.С.** Влияние бульдозерных эффектов, возникающих при криволинейном движении колесных машин на нагруженность элементов трансмиссии / В.С. Макаров, К.О. Гончаров, А.Н. Блохин, В.В. Беляков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – №9. – 2008. – С. 47-51.

9. **Барахтанов, Л.В.** Моделирование взаимодействия колесной машины с грунтом / Л.В. Барахтанов, В.И. Котляренко, С.Е. Манянин, И.А. Соколов // Журнал автомобильных инженеров. – №2(67). – 2011. – С. 26-28.
10. **Алипов, А.А.** Распределений давлений в контакте шины с дорогой / А.А. Алипов, В.В. Беляков, А.Н. Блохин, Д.В. Зезюлин // Вестник ИжГТУ. – 2011. – №1(49). – С. 15-18.
11. **Shoop, S.A.** Overview of cold regions mobility modeling at CRREL / S.A. Shoop, P.W. Richmond, J. Lacombe // Journal of Terramechanics. – 2006. –Vol. 43. – Issue 1. – P. 1-26.
12. **Левенков, Я.Ю.** Определение параметров модели рессоры для анализа нагрузок и оценки прочности элементов подвески в системе расчёта динамики твёрдых тел / Я.Ю. Левенков, И.В. Чичекин // Инженерный вестник. – 2016. – № 12. – С. 4.

*Дата поступления
в редакцию: 03.10.2020*

I.V. Basmanov¹, N.S. Volskaya¹, A. J. Zakharov¹, I.V. Chichekin¹, K.A. Chutkov²

INFORMATION AND MEASUREMENT COMPLEX FOR CARRYING OUT ROAD AND GROUND TESTING OF SMALL-SIZED VEHICLES

Bauman Moscow State Technical University¹

Military educational and scientific center of the Ground Forces²

Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation (Moscow)

Considered the possibility of solving the problem – combining the organization and conduct of scientifically-based finishing tests of ATV. The principle of practical solution of the problem «ground experiment in the conditions of a test site selection of dynamic load meters in the transmission and running gear of ATV, conducting experiments» is proposed. The results of testing the operation of a mobile Autonomous information and measurement system are presented. The results of the study suggested two problems: 1) development plan project testing ground testing ground given area with the aim of the experimental assessment of modes of elements of construction vehicles; 2) the practical solution of the problem of the choice of the type and technical characteristics of the elements of the measuring equipment for basic cell of the test object (vehicle).

Key words: ground polygon, information and measurement system, finishing tests, scientific research, ATV.