

На правах рукописи

Шлеев Алексей Николаевич

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКОГО
СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

Специальность 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Москва - 2013

Работа выполнена в Военном институте (общевойсковом) ВУНЦ СВ
«Общевойсковая академия ВС РФ»

Научный руководитель:

доктор технических наук
Сарач Евгений Борисович,
профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Бекетов Сергей Анатольевич,
советник генерального директора
ООО «Военно-промышленная
компания»

кандидат технических наук,
Золотарев Сергей Анатольевич,
заместитель начальника отдела-
начальник лаборатории Научно-
исследовательского испытательного
центра АТ ФБУ «3 ЦНИИ МО РФ»

Ведущая организация:

Курганский государственный
университет

Защита состоится «01» июля 2013 г. в 14³⁰ на заседании
диссертационного совета Д 212.141.07 в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу 105005 г. Москва, ул. 2-я
Бауманская дом 5, стр. 1.

Ваши отзывы, заверенные печатью, в двух экземплярах просьба вы-
по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Моск-
государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан «__» _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук

Сарач Е.Б.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Развитие средств вооружения и военной техники идет по пути использования сложных современных систем управления элементами боевой машины (БМ). В боевых гусеничных и колесных машинах можно выделить системы управления следующими основными составными частями: силовой установкой, трансмиссией, системами ходовой части, системой вооружения, бортовой информационной системой и др. В связи со сложностью конструкций и систем управления перечисленными составными частями БМ, оценить их работоспособность в ходе полевых испытаний образца крайне затруднительно, а на этапе отладки отдельных систем и сборке образца практически невозможно без применения специального стендового оборудования.

Систему вооружения можно выделить из вышеперечисленных систем, так как оценка ее работоспособности требует соблюдения дополнительных требований безопасности. Таким образом, разработка стендового оборудования для оценки работоспособности специального оборудования (СО) БМ, к которому относится система вооружения, система технического зрения роботизированных комплексов и т.д., является актуальной задачей.

На СО, установленное на шасси БМ, при его эксплуатации действуют динамические нагрузки со стороны системы поддрессирования при движении по неровностям местности и со стороны наводчика-оператора, воздействующего на органы управления СО. Следовательно, стенд для оценки работоспособности СО БМ должен имитировать эти динамические нагрузки. Методов определения характеристик такого стенда, охватывающего весь диапазон динамических нагрузок, действующих со стороны корпуса БМ на СО, на данный момент не сформулировано.

Цель работы: совершенствование методов разработки боевых колёсных и гусеничных машин и роботизированных комплексов на их базе, путём использования специального стендового оборудования.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи исследования:

- разработать математическую модель динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ, включающая математическую модель движения БМ по неровностям местности;
- провести экспериментальные исследования для оценки адекватности и точности разработанной математической модели;
- разработать метод определения характеристик приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ;
- с использованием разработанного метода определить характеристики приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО типовых БМ мотострелковых подразделений Сухопутных войск.

Научная новизна работы заключается:

- в разработке математической модели динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ, учитывающей динамику корпуса БМ при движении по неровностям местности. Модель позволяет определить характеристики

М. Г. Л. У
ИМ. Н. Э. БАУМАНА
БИБЛИОТЕКА

приводов реального стенда на стадии разработки и адекватно задавать входное воздействие в систему управления стендом;

- в разработке метода определения характеристик приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ. Метод основан на моделировании движения БМ по типовым трассам с максимальной скоростью по критериям плавности хода и определении характерных амплитуд и скоростей колебания корпуса БМ и нагрузок на привода стенда.

Практическая значимость полученных результатов состоит:

- в разработке программного комплекса для определения характеристик динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ. Использование данного стенда позволит сократить сроки проектирования, доводочных испытаний и ввод в эксплуатацию СО колёсных и гусеничных БМ, а также роботизированных комплексов на их базе;

- в определении характеристик приводов динамического стенда для оценки работоспособности специального оборудования БМП-2 и БМП-3.

На защиту диссертации вынесены:

- разработанная математическая модель динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ;

- метод определения характеристик приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Результаты диссертации внедрены:

Материалы диссертационной работы вошли в отчет по научно-исследовательской работе «Исследование перспектив и направлений развития военных гусеничных машин транспортно-тягового класса до 2030 года», выполненной в НИИЦ АТ 3 ЦНИИ МО РФ, используются при модернизации объектов учебно-материальной базы в 467 гв. ОУЦ МО РФ, а также в учебном процессе при подготовке курсантов в Военном институте (общевоисковом) ВУНЦ СВ «Общевойсковая академия ВС РФ» и инженеров на кафедре «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Внедрение работы рекомендуется в ОАО «СКБМ», ФГУП «УКБТМ», УралТансМаш, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 4 научные работы, из них - 4 статьи в журналах из перечня, рекомендуемого ВАК РФ. Основные положения и результаты диссертационной работы заслушивались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры Вооружения и военной техники Военного института (общевоискового) ВУНЦ СВ «Общевойсковая академия ВС РФ», многоцелевых гусеничных машин и мобильных роботов МГТУ им. Н.Э.Баумана, на научно-технических совещаниях в НИИЦ АТ 3 ЦНИИ МО РФ, на Международной научно-технической конференции «Проектирование колёсных машин», посвящённой 75-летию кафедры «Колёсные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, 2012 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов по работе, списка сокращений, списка литературы, содержащего 61 наименование и 4-х приложений. Работа содержит 139 страниц машинописного текста, 99 рисунков и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы и научной задачи, дана краткая характеристика состояния проблемы, поставлена цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна и практическая ценность результатов, приведены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе рассмотрены вопросы оценки работоспособности специального оборудования на разных стадиях жизненного цикла БМ: при разработке новых образцов и в период эксплуатации. Отмечено, что стендовое оборудование позволит испытывать отдельные специальные системы перспективных БМ независимо друг от друга и тем самым сократить сроки доводочных и приемочных испытаний изделия, а также сроки приведения БМ в полную боеготовность без расходования ее моторесурса в период эксплуатации.

Далее в первой главе отмечено, что на специальное оборудование при эксплуатации БМ воздействуют не только колебания корпуса при движении по неровностям местности, но и наводчик-оператор при его боевой работе. Учет этих воздействий необходим при оценке работоспособности СО. Чтобы определить, какая должна быть конструкция стенда, и каким образом учитывать воздействие наводчика-оператора на органы управления, проведен анализ действия экипажей при СО БМ и анализ конструкций тренажеров огневой подготовки экипажей БМ. Установлено, что динамический стенд для оценки работоспособности СО БМ может быть создан на основе рамы колебания машины, предназначенной для имитации движения объекта 675 по пересеченной местности при обучении экипажа стрельбе в движении, без использования моторесурса машины.

Для ответа на вопрос, какие же колебания корпуса БМ должны учитываться динамическим стендом для оценки работоспособности СО, проведен анализ влияния колебаний корпуса БМ на точность стрельбы. Выявлено, что на точность стрельбы и работу СО, в первую очередь влияют продольно-угловые, поперечно-угловые и вертикальные колебания корпуса БМ. Следовательно, эти виды колебаний должны имитироваться стендами для оценки работоспособности СО БМ.

Определять характеристики динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ было решено с использованием имитационного математического моделирования, так как имитационное математическое моделирование на сегодняшний день является лучшим способом теоретического определения динамики объекта. Для этого, в заключении первой главы, рассмотрены математические модели прямолинейного движения БМ по неровностям местности.

За основу теоретических исследований диссертации приняты основные положения трудов: А.А. Дмитриева, О.Н. Брилева, А.О. Никитина, А.А. Силаева, П.П. Исакова, А.А. Полунгяна, Г.О. Котиева, научных школ МГТУ им. Н.Э. Баумана, НАТИ, НАМИ, ВНИИТрансмаш, Академии БТВ, Белорусского политехнического института, НГТУ, 21НИИИ МО РФ.

В итоге были сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе представлена математическая модель расчета параметров динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ, учитывающего динамику БМ при прямолинейном движении по неровностям местности. Структура стенд представлена на Рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ

В качестве исходных данных для математического моделирования режима движения БМ по неровностям местности задаются параметры машины, оказывающие влияние на плавность хода, тип трассы, по которой осуществляется движение, и возможная скорость движения.

Математическая модель просчитывает выбранный режим движения и в реальном времени передает продольно-угловые (ϕ_1) поперечно-угловые (ψ_1) и вертикальные (z_1) координаты задающего воздействия в систему управления силовым приводом стенда.

Полученные координаты пересчитываются в поступательные вертикальные перемещения силовых приводов стенда. Силовые приводы могут быть как электрические, так и гидравлические. В зависимости от этого должна выбираться и энергетическая установка силовых приводов с системой управления.

С помощью силовых приводов осуществляется перемещение БМ, закрепленной на колебательной платформе, с заданными амплитудами и частотами по трем координатам: вертикальным, продольно-угловым и поперечно-угловым.

Точность отработки задающего воздействия обеспечивается с помощью обратной связи по угловым и линейным координатам (φ_2, ψ_2, z_2).

Система управления стендом включает в себя ЭВМ моделирования движения БМ по выбранной трассе и задания воздействий на систему управления приводами, а также систему включения (выключения) стенда.

Неотъемлемой частью математической модели стенда является математическая модель движения БМ по неровностям местности. На Рис. 2 представлена расчетная схема гусеничной машины, с независимой подвеской опорных катков. Данная математическая модель пригодна для расчета динамики и колесной машины. При этом силы в гусеничном обводе задаются равными нулю.

При построении модели были приняты следующие основные допущения:

- рассматривается прямолинейное движение машины; движение центра масс корпуса происходит с постоянной скоростью v в направлении оси x ;
- массы неподдрессоренных элементов приведены к осям опорных катков;
- массы поддрессоренных элементов приведены к корпусу;
- гусеницы представляются невесомыми растяжимыми лентами;
- амплитуды угловых колебаний корпуса малы;
- профиль грунта недеформируемый.

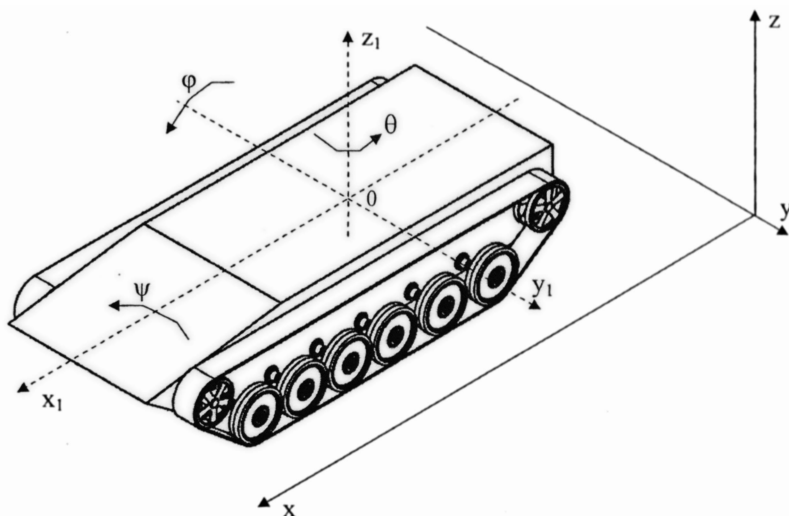


Рис. 2. Расчетная схема БМ

За обобщенные координаты системы приняты:

- координаты центра масс корпуса относительно неподвижной системы координат z_0 ;
- углы поворота корпуса относительно осей x, y — соответственно φ и ψ ;
- вертикальные координаты катков z_{kji} , где j - номер борта (гусеничного обвода), а i - номер подвески по борту.

Система дифференциальных уравнений, описывающих динамику корпуса БМ, имеет следующий вид:

$$m_0 \ddot{z}_0 = -m_0 g + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n_j} P_{ji} + \sum_{j=1}^2 P_{\text{шНК}j} + \sum_{j=1}^2 P_{\text{шВК}j} - \sum_{j=1}^2 P_{\text{гус}j} \cdot (\sin \alpha_{\text{НК}j} + \sin \alpha_{\text{ВК}j});$$

$$I_\varphi \ddot{\varphi} = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n_j} P_{ji} \cdot l_{ji} + \sum_{j=2}^2 (P_{\text{шВК}j} - P_{\text{гус}j} \cdot \sin(\alpha_{\text{ВК}j} - \varphi)) l_{\text{ВК}j} + \sum_{j=2}^2 (P_{\text{шНК}j} - P_{\text{гус}j} \cdot \sin(\alpha_{\text{НК}j} + \varphi)) l_{\text{НК}j};$$

$$I_\psi \ddot{\psi} = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n_j} P_{ji} \cdot b_j + \sum_{j=2}^2 (P_{\text{шВК}j} - P_{\text{гус}j} \cdot \sin \alpha_{\text{ВК}j}) b_j + \sum_{j=2}^2 (P_{\text{шНК}j} - P_{\text{гус}j} \cdot \sin \alpha_{\text{НК}j}) b_j;$$

$$m_{kji} \ddot{z}_{kji} = -m_{kij} g - P_{ij} + P_{\text{ш}ij} + P_{\text{гус}j} \cdot (\sin \alpha_{1ij} + \sin \alpha_{2ij});$$

где m_0 - поддрессоренная масса корпуса; m_{kji} - неподдрессоренная масса i -ой подвески j -го борта; I_φ, I_ψ — моменты инерции корпуса относительно поперечной и продольной осей, проходящих через его центр масс; P_{ji} - вертикальные силы в подвесках i -х катков (колес) j -го борта; $P_{\text{ш}ji}$ - вертикальные силы в шинах i -х катков (колес) j -го борта; $P_{\text{шВК}j}, P_{\text{шНК}j}$ - усилия в шине ведущего и направляющего колес j -го борта, $P_{\text{гус}j}$ - силы натяжения гусеницы j -го борта; $\alpha_{1ij}, \alpha_{2ij}$ — углы наклона ветвей гусеницы справа и слева от i -го катка j -го борта; $\alpha_{\text{НК}j}, \alpha_{\text{ВК}j}$ — углы наклона передней и задней ветвей гусеницы j -го борта; l_{ji} — координата i -го катка j -го борта относительно центра масс корпуса; $l_{\text{НК}j}, l_{\text{ВК}j}$ — координаты ведущего и направляющего колес j -го борта относительно центра масс корпуса; b_j — расстояние от центра масс корпуса до линии выставки катков j -го борта.

Математическая модель стенда реализована в программном комплексе Matlab Simulink. Блок-схема математической модели динамического стенда представлена на Рис. 3. Она состоит из двух основных блоков «ГМ на трассе» и «ГМ на стенде», блока «стенд» и устройств записи сигналов «координаты» и «мощность».

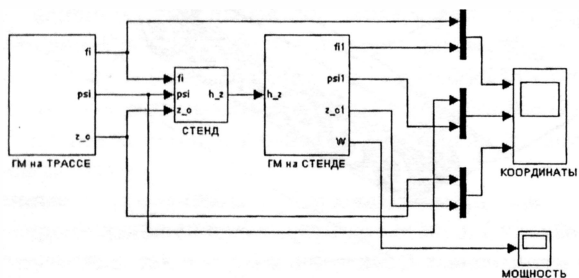


Рис. 3. Блок-схема модели стенда

В блоке «ГМ на трассе» реализована представленная математическая модель движения БМ по неровностям местности. Выходными данными блока «ГМ на трассе» являются продольно-угловая ($\dot{\varphi}$), поперечно-угловая ($\dot{\psi}$) и вертикальная ($\dot{z}$) координаты корпуса БМ. Эти данные в реальном времени расчета модели передаются на вход блока «стенд» где преобразуются в перемещение вертикальных координат точек контакта опорных катков БМ, расположенной на стенде с колебательной платформой (h, z). Колебательная платформа совершает вертикальные перемещения и вращения вокруг неподвижной точки.

Таким образом, на вход блока «ГМ на стенде» в реальном времени подаются вертикальные координаты точек контакта катков с колебательной платформой h, z , то есть имитируется кинематическое воздействие на подвеску БМ, находящейся на стенде

Также в блоке «ГМ на стенде» определяется мощность затрачиваемая на колебание машины. Для этого силы в шинах опорных катков умножаются на скорости перемещения точек контакта с опорной поверхностью. Мощность распределяется между силовыми приводами колебательной платформы и выдается в виде выходного сигнала «W» на устройство записи «мощность»

Выходными сигналами блока «ГМ на стенде» помимо мощности являются продольно-угловая ($\dot{\varphi}_1$), поперечно-угловая ($\dot{\psi}_1$) и вертикальная ($\dot{z}_1$) координаты корпуса БМ, расположенной на стенде, которые в устройстве записи «координаты» можно сравнить с аналогичными координатами БМ на трассе

В третьей главе представлены результаты испытания БМП-2 (Рис 4) на кольцевом участке трассы. Цель испытаний – подтверждение результатов теоретических исследований, оценка адекватности и точности разработанной математической модели движения БМ.



Рис 4. Боевая машина пехоты БМП-2

Оценка плавности хода проводилась для машин с тремя уровнями мощности. Различные уровни мощности на БМП-2 задавались путем ограничения хода педали подачи топлива и определялись по показаниям штатного тахометра. Максимальный уровень мощности $N_{\max}$ соответствует частоте вращения коленчатого вала двигателя 2600 об/мин, средний уровень мощности $N_{\text{ср}}$ соответствует частоте вращения коленчатого вала двигателя 2100 об/мин, минимальный уровень мощности $N_{\min}$ соответствует частоте вращения коленчатого вала двигателя 1700 об/мин.

При проведении экспериментальных исследований по оценке плавности хода БМП-2 измерялись следующие параметры: скорость движения машины (система регистрации данных GPS 3-го поколения (VBOX 3i)) и вертикальные ускорения на месте механика-водителя (многофункциональный виброметр Экофизика). Размещение аппаратуры на БМ представлено на Рис 5

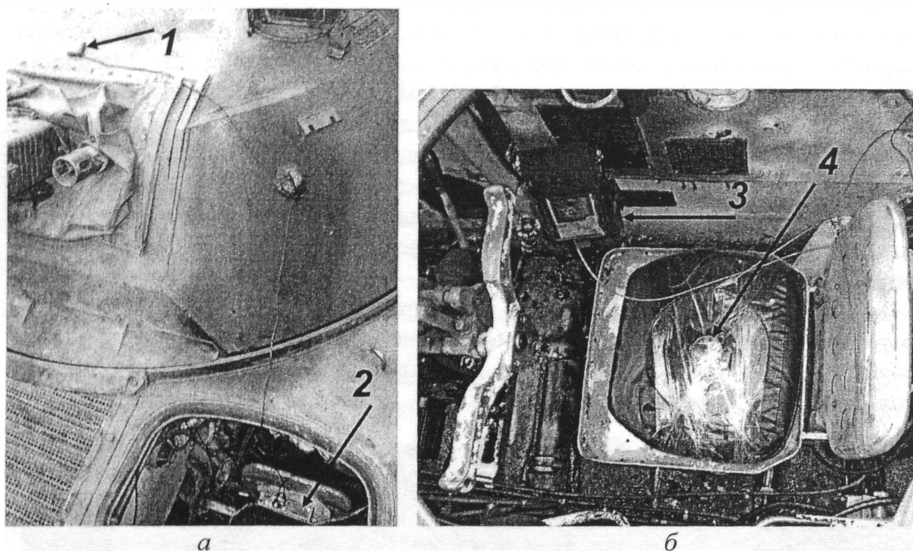


Рис 5 Размещение аппаратуры на БМП-2: а система регистрации данных GPS 3-го поколения (VBOX 3i); б многофункциональный виброметр Экофизика; 1 магнитная GPS антенна; 2 регистратор данных; 3 измерительно-индикационный блок; 4 вибропреобразователь AP2028M

Для определения плавности хода БМП-2 заезды проводились по выбранному кольцевому участку трассы. На данном участке трассы механик-водитель пытался поддерживать максимальную скорость движения. Исследовались машины с тремя уровнями мощности $N_{\min}$, $N_{\text{ср}}$ и $N_{\max}$. Для снижения ошибок эксперимента, участок трассы проезжался 4–6 раз для каждого уровня мощности. На Рис 6а представлена записи вертикальных ускорений на месте механика-водителя БМ со средним уровнем мощности,

полученные в ходе эксперимента с использованием multifunctional vibrometer Экофизика.

Значимость полученных экспериментальных данных определялась по критерию Стьюдента. Скорректированные значения экспериментальных данных представлены в таблице 1.

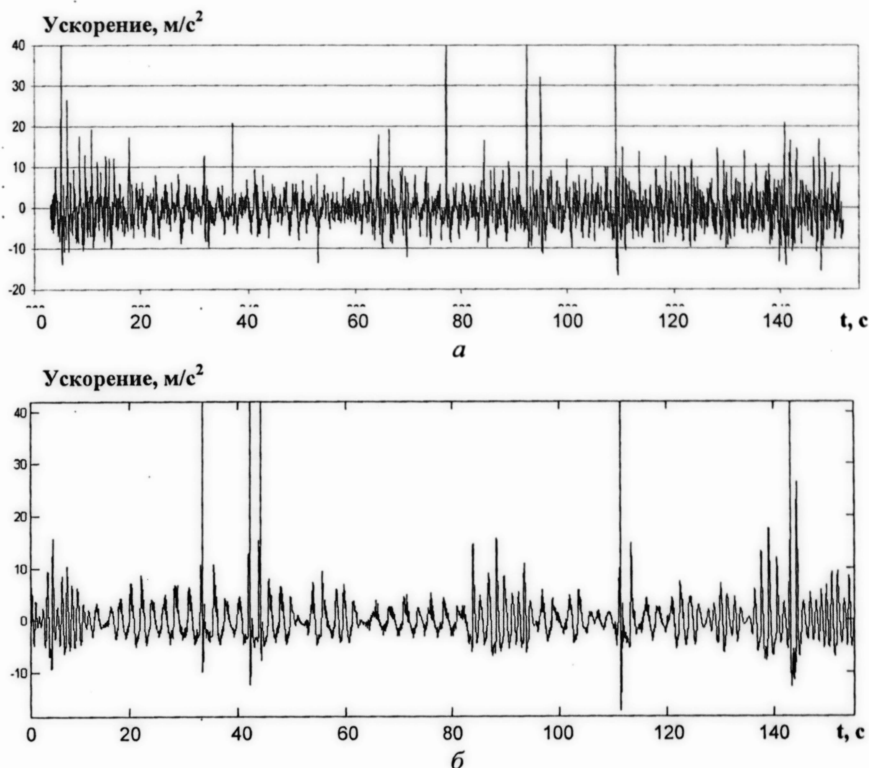


Рис. 6. Вертикальное ускорение на месте механика-водителя, полученное в ходе эксперимента (а) и математического моделирования (б) движения БМ со средним уровнем мощности по трассе

Таблица 1.

Результаты эксперимента и математического моделирования

Уровень мощности БМ	СКО вертикальных ускорений на месте механика водителя, м/с^2		Расхождение с экспериментом
	эксперимент	математическая модель	
$N_{\min}$	3,161	2,575	15 %
$N_{\text{ср}}$	4,033	4,404	9 %
$N_{\max}$	4,649	5,210	12 %

Для оценки адекватности и точности разработанной математической модели, результаты моделирования сравнивались с данными, полученными в ходе эксперимента.

По смоделированному участку трассы моделировались движения БМ со скоростями, соответствующими различным уровням мощности. Велась запись вертикального ускорения на месте механика-водителя. На Рис. 6 б представлена запись ускорения, полученного в ходе математического моделирования движения БМ со средним уровнем мощности по трассе. В таблице 1 указаны СКО вертикальных ускорений на месте механика-водителя, полученных в математической модели и результаты сравнения их с экспериментальными данными.

Анализируя данные таблицы можно сделать вывод, что результаты математического моделирования при движении БМ по трассе согласуются с экспериментальными данными во всем скоростном диапазоне исследований с точностью, приемлемой для использования модели на стенде при определении динамики корпуса БМ. Относительное расхождение результатов на совокупности условий для БМ с различным уровнем мощности не превосходит по СКО вертикальных ускорений на месте механика-водителя – 15%.

В четвертой главе представлен метод определения характеристик приводов динамического стенда с использованием имитационной математической модели стенда. Метод состоит из следующих пунктов:

1. В файле исходных данных математической модели задаются параметры исследуемой БМ, такие как масса корпуса и опорных катков, моменты инерции корпуса, характеристики упругих и демпфирующих элементов подвески, характеристики шины катков и т.д.

2. Осуществляются моделирование заездов БМ по типовым трассам со скоростями, вызывающими максимальные амплитуды и скорости колебаний корпуса БМ.

3. Записываются и анализируются мощности, необходимые для отработки полученных колебаний корпуса БМ на стенде.

Для исследования были выбраны три типа трассы, характерные для движения БМ. Трасса первого типа представляет собой дорогу с твердой недеформируемой поверхностью, разбита равномерно по ширине проезжей части с постоянным поперечным уклоном. Неровности волнообразные, преимущественно высокие и длинные, расположены с примерно постоянным шагом. Такая трасса характерна для движения колонн БМ и называется периодической. Она задается в модели синусоидальным профилем. Наиболее опасная длинна неровностей, вызывающая максимальные амплитуды продольно-угловых колебаний, соответствует двум базам машины. Высоты неровностей не менее 0,2 м. Скорости движения порядка 25 км/ч.

Трасса второго типа, вызывающая поперечно-угловые колебания корпуса БМ, представляет собой периодические неровности, расставленные в шахматном порядке. Такой режим движения характерен для машины движущейся одной гусеницей (колесами одного борта) по дороге, а другой по

обочине. Длины неровностей 5 – 7 м. Высоты неровностей 0,1м. Скорость 20 – 25 км/ч.

Трасса третьего типа характерна для леса и бездорожья. Здесь периодические неровности короче, чем на первой трассе, колея узкая с различной глубиной под левой и правой гусеницей. Такие трассы называются трассами случайного профиля и моделируются с использованием математической статистики. Фрагмент реализации данной трассы, представлен на Рис. 7. Максимальная скорость на трассе третьего типа определяется по критериям плавности хода. В нашем случае это «пробой» подвески – жесткий удар балансира в ограничитель хода.

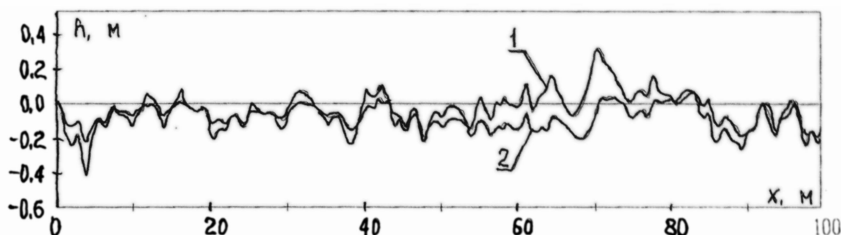


Рис. 7. Фрагмент реализации трассы третьего типа: 1, 2 – профиль грунта под гусеницами (колесами) левого и правого борта

Используя полученный метод, были определены потребные мощности приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМП-2 и БМП-3. На Рис. 8-10 представлены результаты математического моделирования движения БМП-2 по трассе третьего типа и колебания на стенде. Анализируя полученные графики можно сделать вывод, что виртуальный стенд отрабатывает задающее воздействие по всем трем координатам с приемлемой точностью. Мощности, необходимые для имитации динамического воздействия на СО при движении БМП-2 по трассе третьего типа составляют 40 кВт в каждом из четырех приводов.

Таким образом, суммарные максимальные мощности приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМП-2 и БМП-3 составляют 160 кВт и 200 кВт соответственно.

Разработанная математическая модель позволяет произвести выбор гидравлических или электрических приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ. На Рис. 11 представлен внешний вид динамического стенда с гидроприводом.

С помощью разработанной математической модели получены записи перемещений, скоростей штока и сил на штоке одного из гидроприводов стенда для БМП-2 при имитации по трассе третьего типа (Рис. 12-14). Из анализа графиков видно, что перемещение штока гидропривода должно составлять не менее 300 мм, скорости перемещения штока до 0,6 м/с, максимальные часто встречающиеся усилия на штоке 70 кН (до 90 кН). Для реализации такого

движения может быть использован, например, гидроцилиндр ГЦ-80.40х320.11-01, выпускаемый ОАО «Елецгидроагрегат».

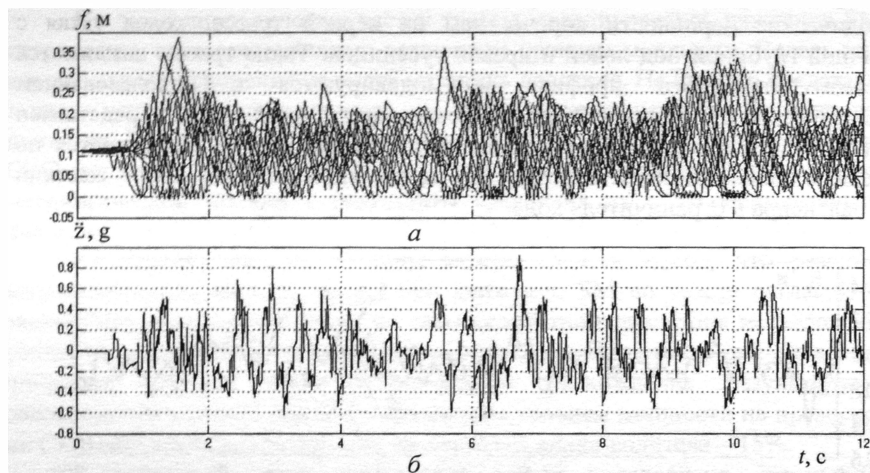


Рис. 8. Ходы подвески (а) и вертикальные ускорения на месте механика-водителя (б) при моделировании движения БМП-2 по трассе третьего типа

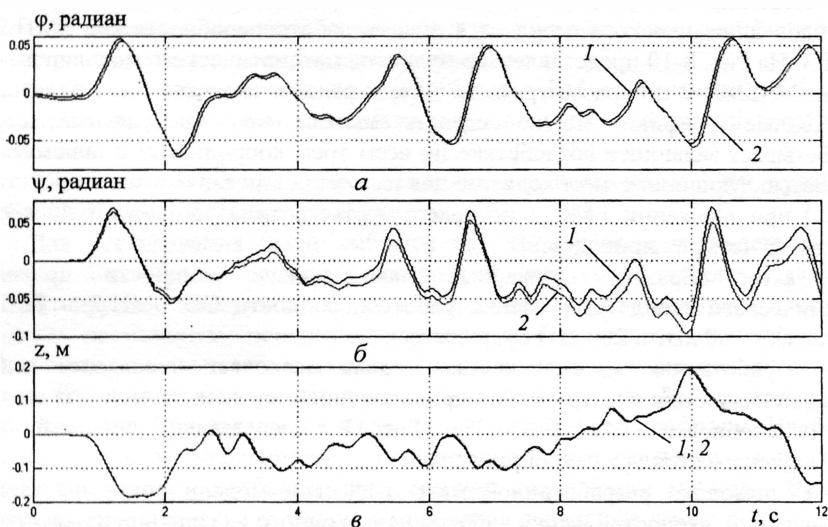


Рис. 9. Продольно-угловые (а), поперечно-угловые (б) и вертикальные (в) колебания корпуса БМП-2 при моделировании движения по трассе третьего типа (1) и на стенде (2)

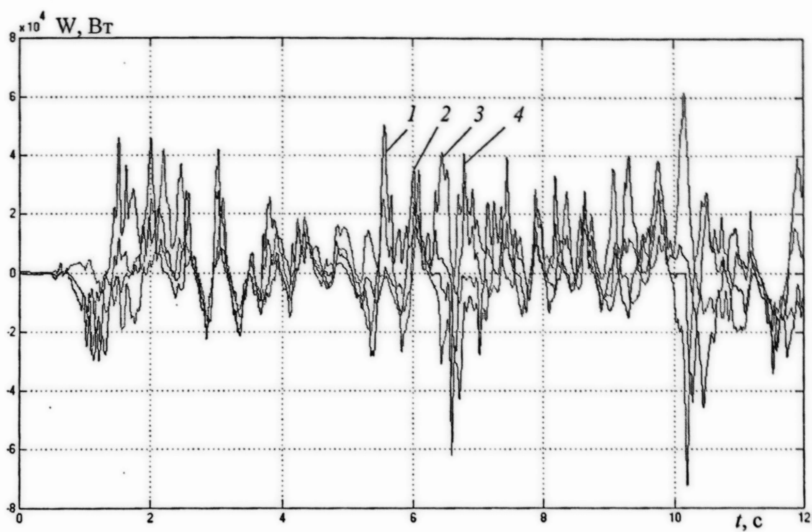


Рис. 10. Мощность, затрачиваемая приводами стенда при имитации движения БМП-2 по трассе третьего типа: 1 - 4 - номера приводов

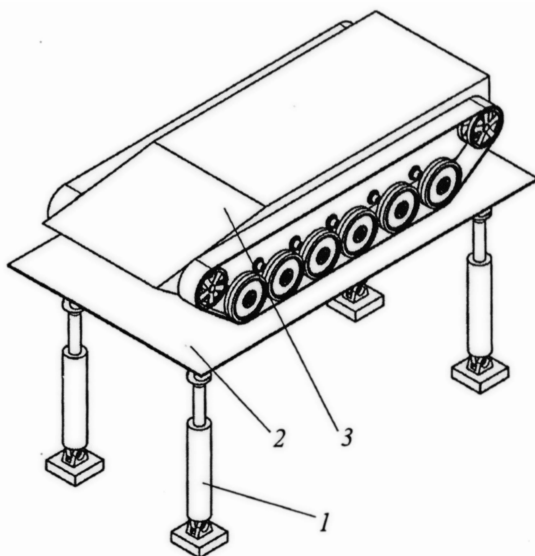


Рис. 11. Внешний вид динамического стенда с гидроприводом: 1 - гидропривод; 2 - колебательная платформа; 3 - боевая машина

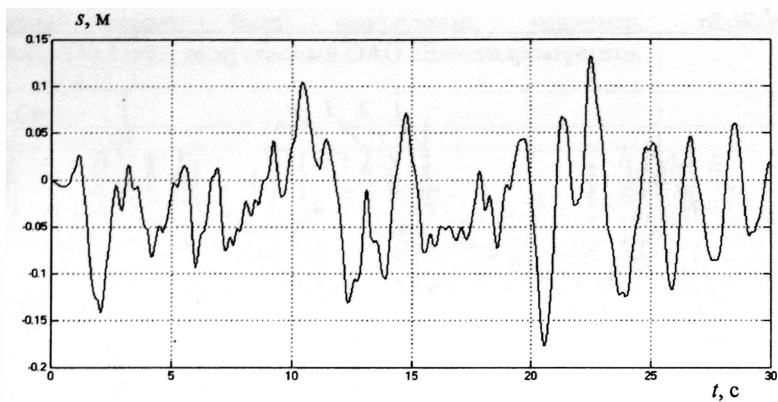


Рис. 12. Перемещение штока гидропривода стенда

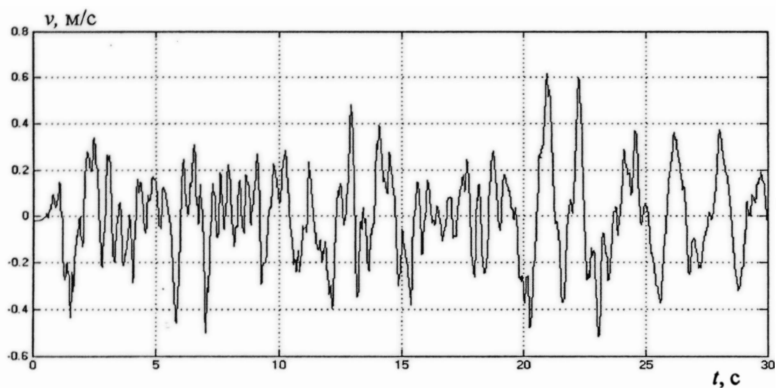


Рис. 13. Скорость штока гидропривода стенда

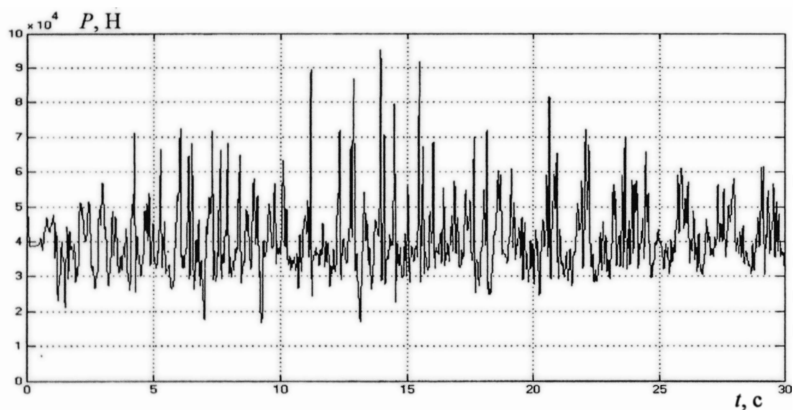


Рис. 14. Сила на штоке гидропривода стенда

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана математическая модель динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ, учитывающая динамику корпуса БМ при движении по неровностям местности. Особенностью модели является то, что с достаточной степенью точности имитируются реальные процессы колебаний корпуса БМ со временем вычисления меньшим, чем реальный процесс. Это позволяет с учетом скорости работы приводов стенда воспроизводить колебания корпуса БМ в реальном времени и тем самым сократить сроки проектирования, доводочных испытаний и ввода в эксплуатацию СО колёсных и гусеничных БМ, а также роботизированных комплексов на их базе. Имитационным моделированием установлено, что модель позволяет определить мощности приводов реального стенда на стадии разработки и адекватно задавать входное воздействие в систему управления стендом.

2. Результаты расчетов движения БМ по участку трассы с использованием разработанной математической модели, согласуются с экспериментальными данными во всем скоростном диапазоне исследований с точностью, приемлемой для оценки динамики корпуса БМ. Относительное расхождение результатов на совокупности условий для БМ с различным уровнем мощности силовой установки не превосходит по СКО вертикальных ускорений на месте механика-водителя – 15%. Сравнение результатов экспериментальных и теоретических исследований в различных режимах, позволяет сделать вывод об адекватности модели объекту, а также практической пригодности модели для использования на стенде при определении динамики корпуса БМ.

3. Разработан метод определения характеристик приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМ. Метод основан на моделировании движения БМ по типовым трассам с максимальной скоростью по критериям плавности хода и позволяет определить характерные амплитуды и скорости колебания корпуса. Использование данного метода даёт возможность сократить сроки проектирования специального стендового оборудования для оценки работоспособности СО БМ.

4. Определена максимальная суммарная мощность приводов динамического стенда для оценки работоспособности СО БМП-2 и БМП-3. Мощность составляет 160 кВт и 200 кВт соответственно.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИИСЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Шлеев А.Н. Усовершенствование конструкции испытательно-измерительного стенда предназначенного для оценки эффективности применения комплекса вооружения военной техники Сухопутных войск // Сборник ВТУ. 2011. № 11. С. 146-149.

2. Шлеев А.Н., Сарач Е.Б., Смирнов И.А. Оценка результатов исследования плавности хода боевой гусеничной машины при движении по трассе // Сборник ВТУ. 2011. № 11. С. 150-159.

3. Шлеев А.Н., Сарач Е.Б., Смирнов И.А. Математическая модель перспективного испытательно-измерительного тренажерного стенда для освоения и оценки работоспособности специального оборудования быстроходных машин. [Электронный ресурс] // Электрон. журн. «Наука и образование: электронное научно-техническое издание». 2012. Выпуск 9.

4. Шлеев А.Н., Сарач Е.Б., Смирнов И.А. Методика определения потребной мощности приводов перспективного испытательно-измерительного тренажерного стенда для освоения и оценки работоспособности специального оборудования быстроходных машин // Электрон. журн. «Наука и образование: электронное научно-техническое издание». 2012. Выпуск 10.

Пописано к печати __. 05.2013. Заказ № ____

Объем 1,0 печ. л. Тираж 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5

(499) 263-62-01