

ВЛИЯНИЕ МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЕВОГО МОДУЛЯ, БРОНЕКОРПУСА И ПОДВЕСКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ СТРЕЛЬБЫ

Введение. В статье [1] обоснована актуальность задачи об исследовании реакции системы «боевой модуль–корпус–подвеска боевой машины» на воздействие реактивных усилий отдачи при стрельбе. Некоторые аспекты решаемой задачи частично отражены в работах [2-6]. В то же время полного решения данная задача не получила. В связи с этим с использованием подходов, математических и численных моделей, изложенных в статье [1], в данной работе ставится цель получения качественных результатов численного моделирования на примере машины БТР-3Е.

Постановка задачи. В качестве объекта исследований был принят БТР-3Е.

В качестве исходных данных для задания характеристик подвески созданной компьютерной модели использовались данные экспериментальных исследований определения центра масс (рис. 1), а также сопутствовавших этому измерений (таблица 1) – жесткости элементов подвески, величины неподрессоренных масс и т.п. Центр масс машины находится на продольном расстоянии 3290 мм (координата X) и вертикальном 506 мм (координата Z) от характерной точки закрепления или 2475 мм и 460 мм от оси первого моста. Измерение в поперечном направлении не производилось. На момент испытаний масса бронетранспортера составляла около 15 000 кг.

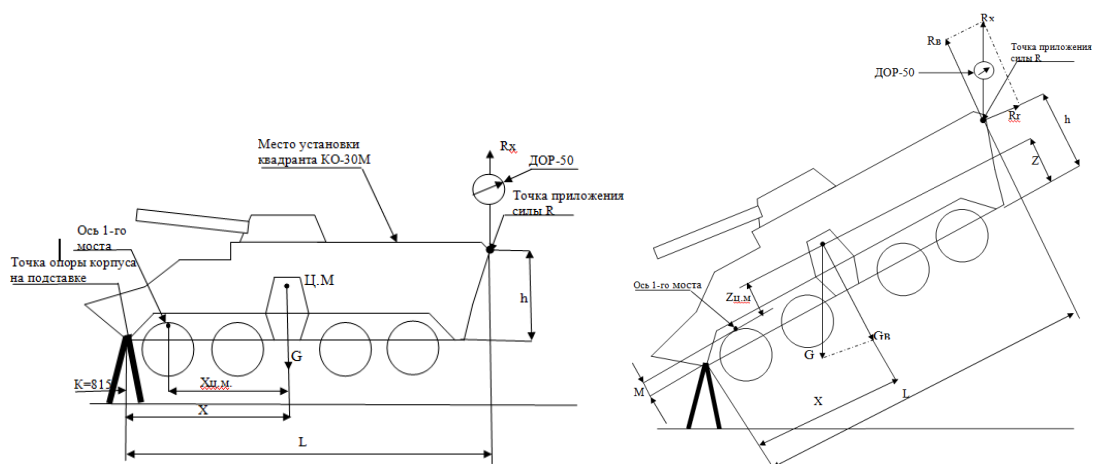


Рис. 1. Схема установки изделия при измерении горизонтальной и вертикальной координаты центра масс

Таблица 1

Наименование характеристики	Характеристика подвески			
	1 ось машины	2 ось машины	3 ось машины	4 ось машины
Нагрузка на ось колеса, кг	2382,24	2276,12	2124,11	2017,94
Нагрузка под колёсами, кг	2655,64	2549,52	2385,51	2279,34
Деформация подвески, м	0,144	0,139	0,131	0,125
Деформация шины, м	0,044	0,042	0,039	0,038
Угол выставки, град.	23,0	22,0	20,5	19,5

Ставиться задача анализа реакции системы «боевой модуль–корпус–подвеска» на действие серии выстрелов.

Методика исследований. Компьютерная модель корпуса с внутренней силовой структурой (рис. 2 а,б) исследуемого транспортного средства была доработана для обеспечения массово-инерционных характеристик исходного изделия путем размещения масс, моделирующих элементы трансмиссии, двигательной установки, боевого модуля – рис. 2в. На рис. 2 г представлена конечно-элементная модель (часть элементов скрыта).

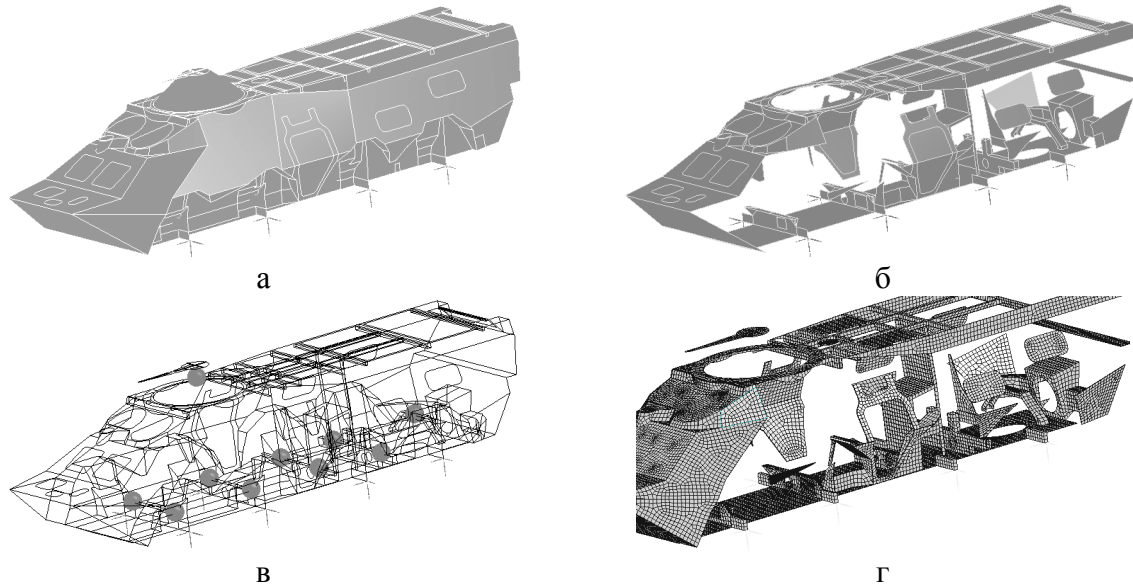


Рис. 2. Геометрическая и конечно-элементная модель исследований динамической системы «боевой модуль–корпус–подвеска» БТР-3Е

Элементы подвески моделировались специализированными конечными элементами (combin 14), описывающими упругие и демпфирующие их свойства. Расчетная модель не подразумевает моделирование неподрессоренных масс, и этот факт был учтен на этапе распределения добавочных масс (с сохранением неизменности центра масс), из которых были вычтены соответствующие неподрессоренные: 273 кг на каждом элементе 1-й и 2-й оси и 262 кг – на 3-й и 4-й. После этого упругие свойства подбирались путем варьирования жесткостных свойств конечных элементов с целью удовлетворения значениям деформации подвески по экспериментальным данным из таблицы 1.

Демпфирующие свойства оценивались путем исследования просадки корпуса исходя из дополнительного расчета, моделирующего колебания корпуса БТР-3Е во времени под действием гравитационных сил, при выведении его из положения равновесия (рис. 3 а,б).

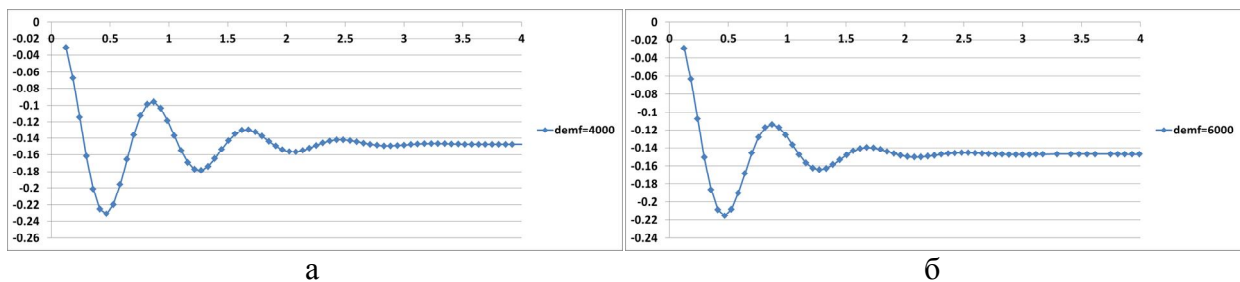


Рис. 3. Вертикальные перемещения точки корпуса над первой осью машины во времени с величиной демпфирования: а – 4000 Н·с/м, б – 6000 Н·с/м

Таким образом, были приняты следующие значения жесткостных и демпфирующих свойств каждого из восьми элементов подвески – сведены в таблице 2. Для определения продольной и поперечной составляющих жесткостных и демпфирующих свойств отсутствуют экспериментальные данные, поэтому они были назначены следующими: продольная и поперечная жесткость взята на один порядок меньше вертикальной, а степень демпфирования – также на один порядок меньше.

Таблица 2

Характеристики подвески бронетранспортера, принятые в расчетной модели

Наименование характеристики	Вертикальная составляющая	Продольная составляющая	Поперечная составляющая
Жесткость элемента подвески, Н/м	$1,2 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$
Коэффициент демпфирования элемента подвески, Н·с/м	4000	400	400

В качестве вынуждающего воздействия выступает периодическое импульсное силовое воздействие, моделирующее серию выстрелов из условной пушки (с темпом стрельбы 300 выстр./мин) со следующими модельными характеристиками (таблица 3).

Таблица 3

Характеристика вынуждающего воздействия

Наименование характеристики	Значение
Величина силового воздействия, Н	100 000
Длительность импульсного силового воздействия, с	0,01
Длительность нарастания силового воздействия, с	0,001
Период повторения, с	0,2
Количество повторений	5

Исследовалась возможная погрешность стрельбы от степени несоответствия центра масс боевого модуля его осевому положению (вследствие постепенной выработки боекомплекта, начального конструктивного несоответствия, погрешности изготовления и т.п.). Такое несоответствие центра масс боевого модуля изменяет точку приложения результирующей силы, возникающей в результате отдачи орудия и создает дополнительный момент относительно центра масс. Это несоответствие можно смоделировать, непосредственно изменяя точку приложения силы, сместив ее на величину геометрического несоответствия. В связи с этим была построена упрощенная модель боевого модуля, позволяющая варьировать величину отклонения и новую точку приложения вынуждающего силового воздействия (рис. 4). Таким образом, сравнивались расчеты со смещением точки приложения силы – рис. 4а, и без – рис. 4б.

Результаты исследований. Исходя из принятых исходных данных, были получены следующие результаты численного эксперимента, представленные на рис. 5-7.

Поскольку элементы корпуса и внутреннего силового каркаса являются деформируемыми элементами, то полученные графики являются следствием суперпозиции двух податливостей – податливости самого корпуса и элементов подвески. Для оценки вклада каждой из составляющих были проведены дополнительные расчеты – с корпусом, как абсолютно жестким телом на исследуемой подвеске и деформируемым корпусом с жестким закреплением в местах подсоединения

элементов подвески. После этого были получены следующие данные, представленные на рис. 8-10.

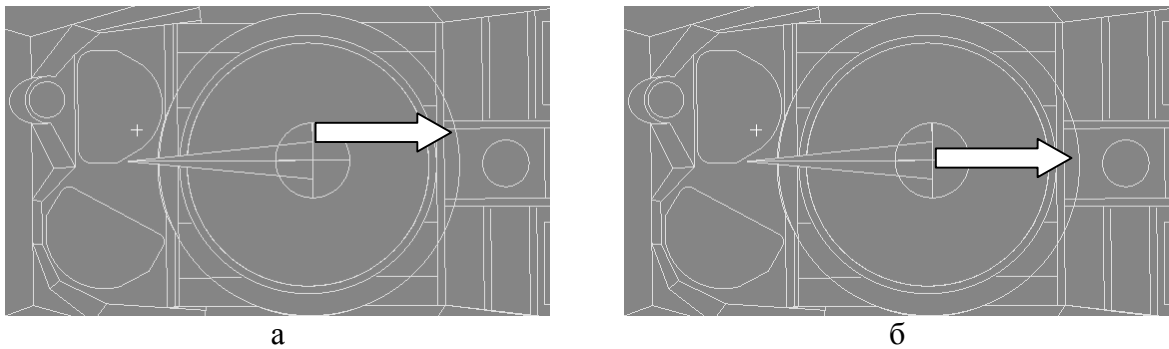


Рис. 4. Приложения вектора силы вынуждающего воздействия относительно центра масс в направлении бортов:
а – со смещением, б – без смещения

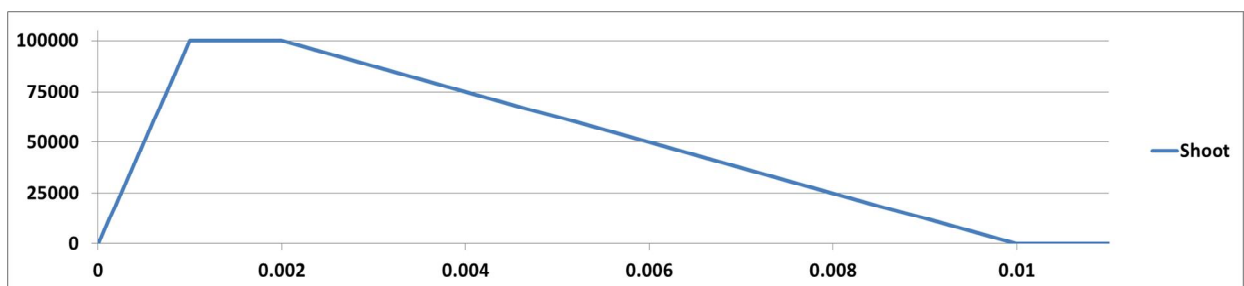
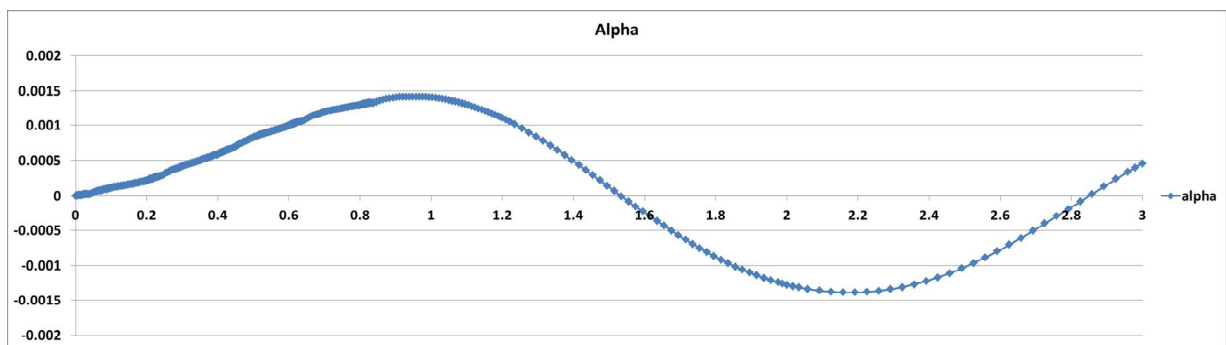
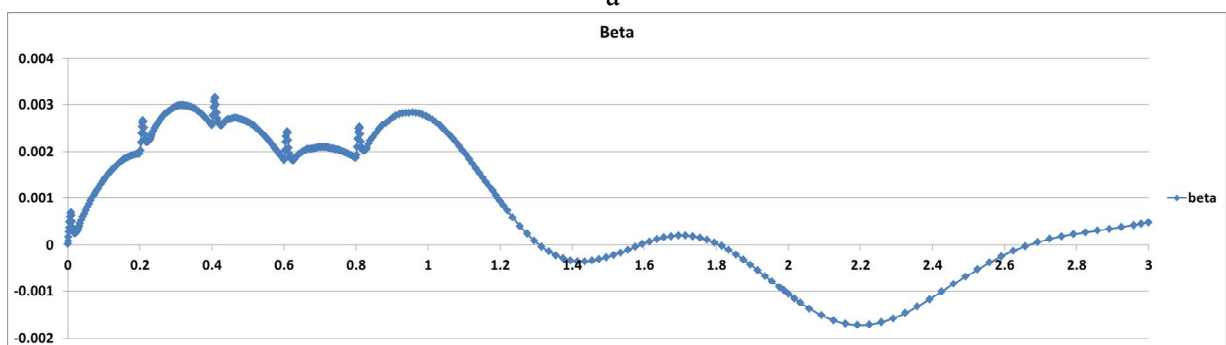


Рис. 5. График вынуждающего силового воздействия



а



б

Рис. 6. Углы отклонения канала ствола в плоскостях:
а – горизонтальной, б – вертикальной
(положительным направлением принят поворот ствола вправо и вверх)

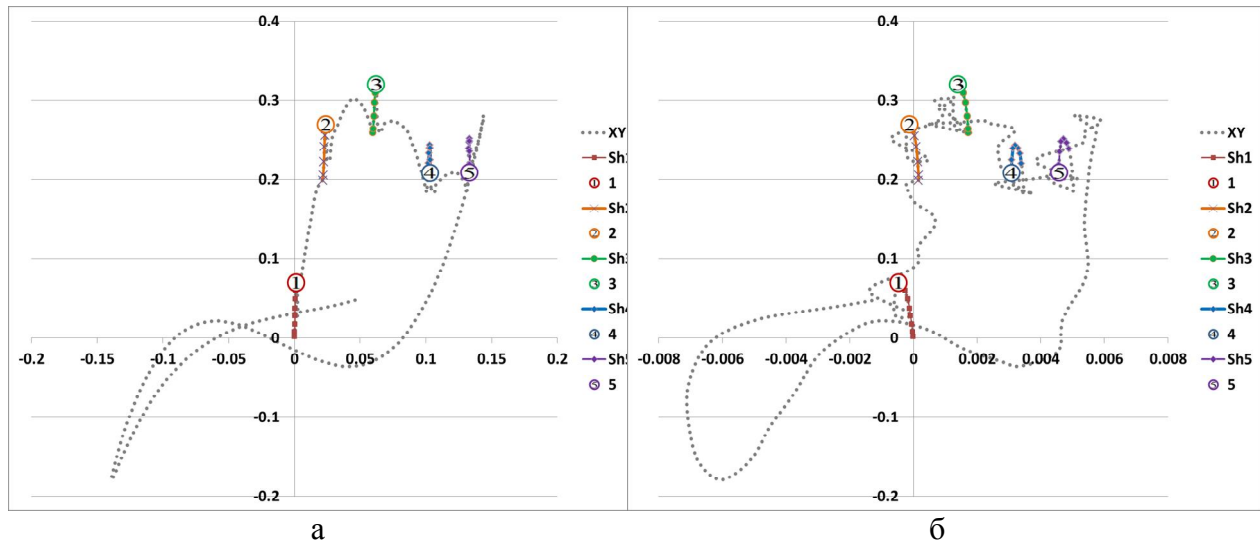


Рис. 7. Проекция отклонения точки пересечения линии канала ствола с экраном-мишенью, расположенном на расстоянии 100м:
а – со смещением ц.м. , б – без смещения ц.м.

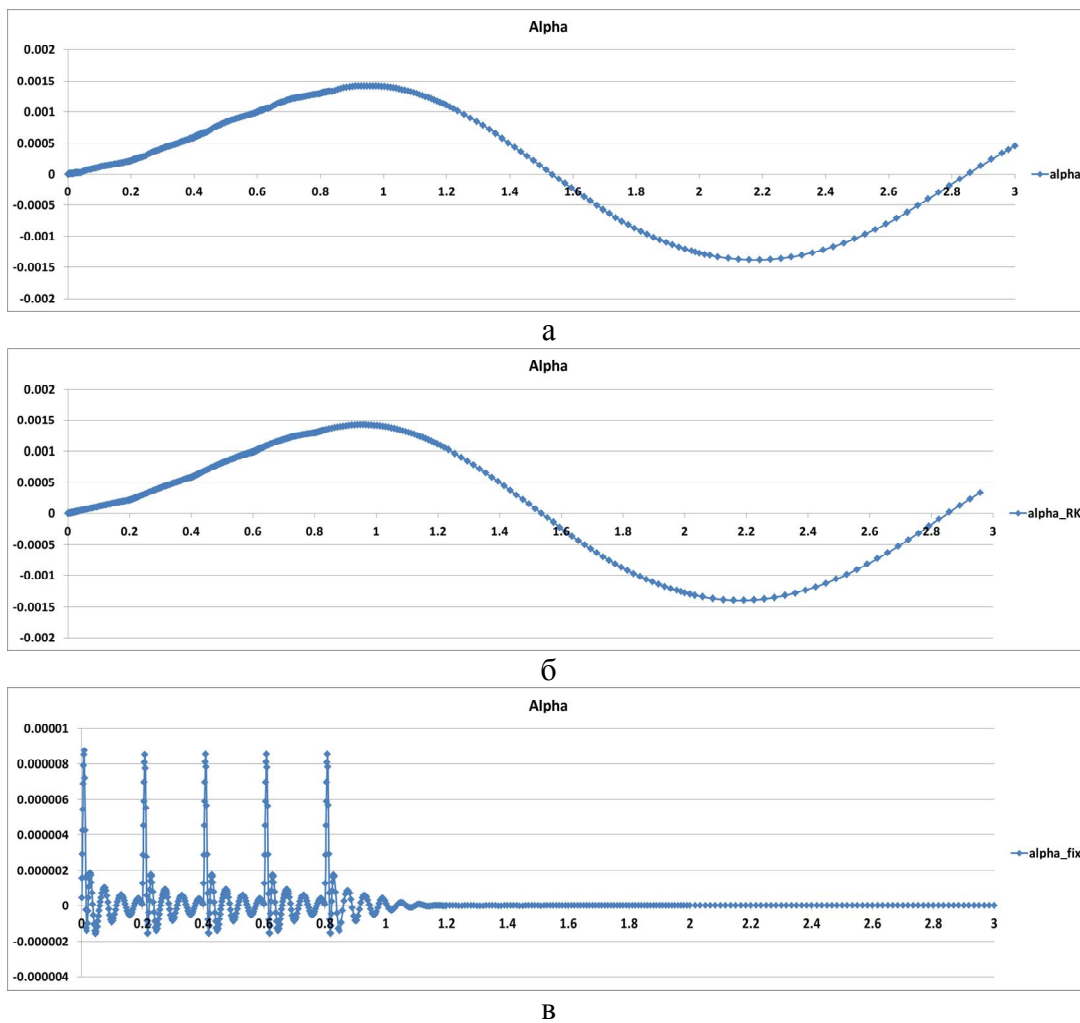


Рис. 8. Угол отклонения канала ствола в горизонтальной плоскости:
а – полная модель, б – жесткий корпус, в – жесткая подвеска

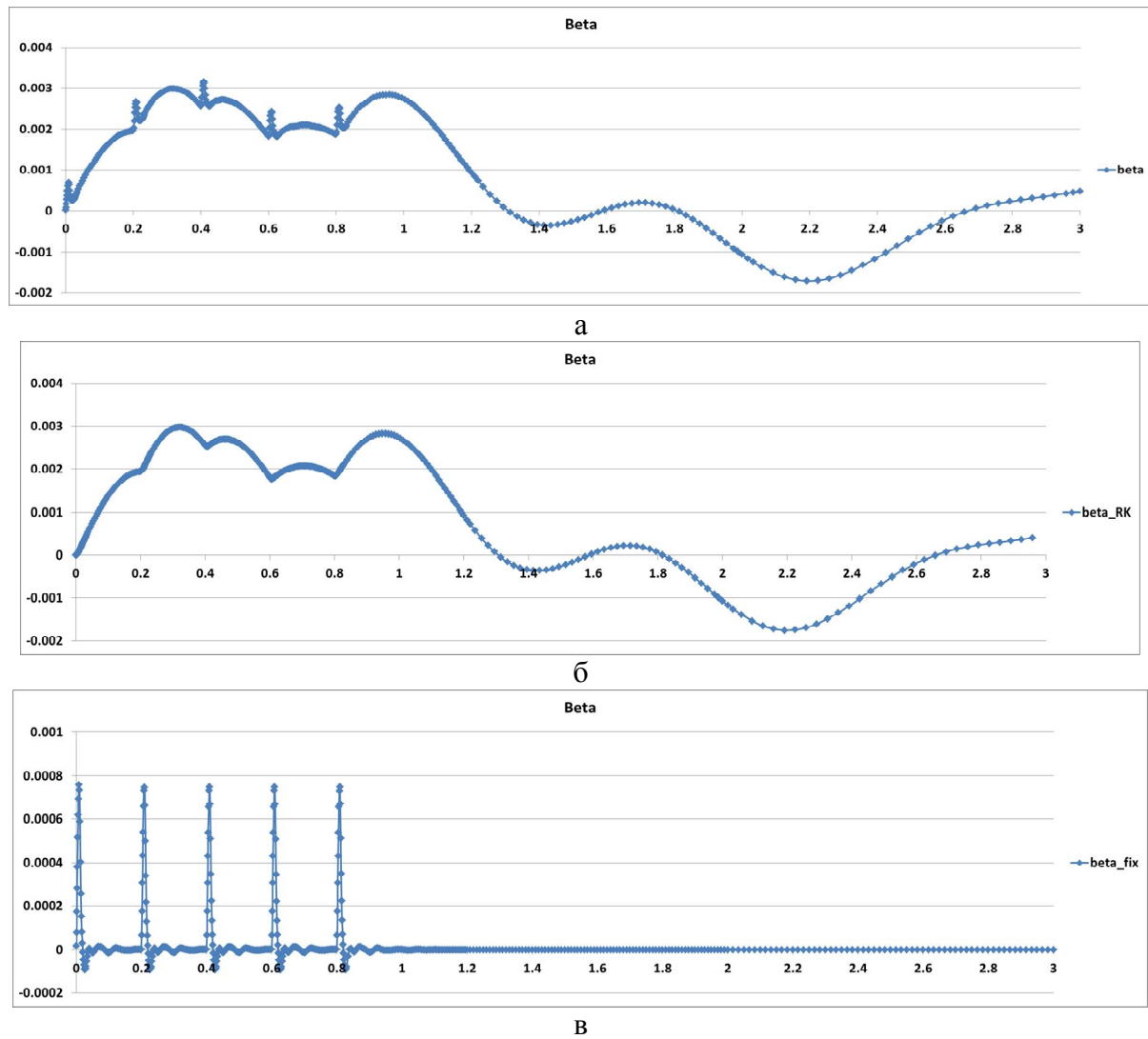


Рис. 9. Угол отклонения канала ствола в *вертикальной* плоскости:
а – полная модель, б – жесткий корпус, в – жесткая подвеска

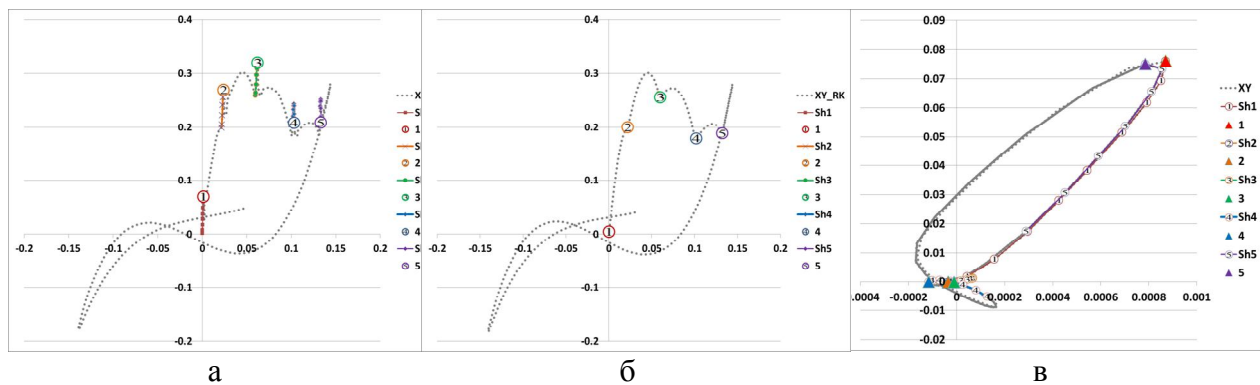


Рис. 10. Проекция отклонения точки пересечения линии канала ствола с экраном-мишенью, расположенном на расстоянии 100м:
а – полная модель, б – жесткий корпус, в – жесткая подвеска

Из представленных графиков (см. рис. 8-10) видно, что деформация корпуса и возникающие при этом колебания вносят значительный вклад в общую картину поведения канала ствола при стрельбе, а именно его отклонения от первоначального положения. Заметим, что в данной постановке колебаниями самого ствола пренебрегаем. Тогда погрешность выстрела по вертикали может достигать до 75 мм только лишь от деформирования самого корпуса, горизонтальная погрешность при этом остается на приемлемом уровне – отклонение менее одного миллиметра. Особая трудность в прогнозировании степени отклонения только лишь под влиянием деформации корпуса заключается в сложности определения фазы колебания элементов корпуса – т.е. на ряд выстрелов данный эффект может слабо либо никак не повлиять: так, в данном случае в момент окончания второго, третьего и четвертого выстрелов канал ствола занимал то же положение что и до стрельбы, чего нельзя сказать от первом и пятом выстрелах.

Рассмотрим возникновение погрешности лишь от влияния характеристик подвески (см. рис. 10б). Видно, что погрешность составляет значительную величину для всех выстрелов, кроме первого, и на дистанции 100 м отклонение может составить порядка 200–250 мм по вертикали. При этом горизонтальное смещение будет сильно зависеть от степени отклонения центра масс боевого модуля в горизонтальной плоскости: так, при значении несоответствия 100 мм коридор разброса на расстоянии 100 м составит 150 мм (см. рис. 11б), что уже выходит за допустимые пределы.

Далее представлены результаты, аналогичные вышеописанным, но без принудительного смещения центра масс боевого модуля – рис. 11. Как видно из графиков, исследуемые эффекты являются качественно неизменными.

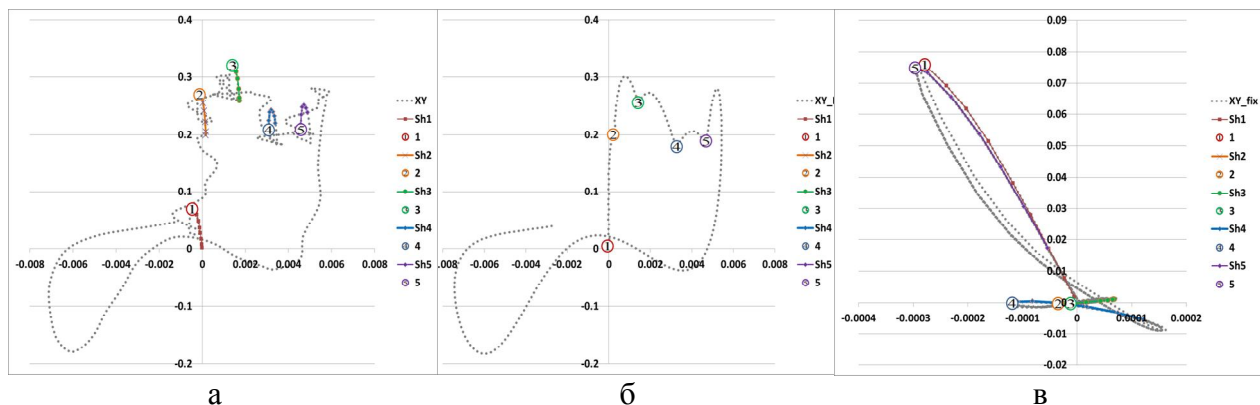


Рис. 11. Проекция отклонения точки пересечения линии канала ствола с экраном-мишенью, расположенном на расстоянии 100м:

а – полная модель, б – жесткий корпус, в – жесткая подвеска
(без смещения центра масс боевого модуля)

Видно, что в отклонениях все также присутствует горизонтальное смещение для каждого последующего выстрела (хотя и довольно небольшое). Это обусловлено малым отклонением центра масс общей модели от вертикальной плоскости симметрии, которое возникло как в результате погрешностей при геометрическом моделировании, так и из-за отсутствия полной симметрии модели (как, впрочем, и в реальной конструкции).

Заключение. Решение поставленной модельной задачи подтвердило работоспособность созданного специализированного программно-модельного комплекса. Он предоставляет возможность оценивать влияние упругих деформаций

элементов транспортных средств специального назначения на возмущения направления оси канала ствола пушки в процессе осуществления выстрелов. Т.о., создан «виртуальный» стенд для параметрического анализа и синтеза проектных решений элементов боевых машин по критерию минимизации возмущений, возникающих вследствие отклонения стрельбы от номинального за счет упругого деформирования системы «боевой модуль–корпус–подвеска».

В дальнейшем созданные модели планируется применить к исследованиям процессов в боевых бронированных машинах.

Литература: 1. Рикунев О.Н., Набоков А.В., Мазур И.В., Белов Н.Л., Шейко А.И., Ткачук Н.А. Специализированные программно-модельные комплексы для анализа динамических процессов // статья напечатана в этом журнале. 2. Толстолуцкий В.А. Математическое моделирование и анализ процессов в шасси колесных и гусеничных машин / В.А. Толстолуцкий; под ред. Д.О. Волонцевича. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2013. – 171 с. 3. Математическое моделирование процессов возмущенного движения агрегатов и систем бронетанковой техники: Учеб. пособие в 2-х т. – Т.1. / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, В.В. Дущенко, В.В. Епифанов, Н.В. Кохановский. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – 356 с. 4. Гриценко Г. Д., Малакей А.М., Миргородский Ю. Я., Ткачук Н.А., Ткачук А.В. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Механика и машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ» – 2002. – № 1. – С.6-13. 5. Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н., Гриценко Г.Д., Орлов Е.А. Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Механика и машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – №1. – С. 184-194. 6. Мельник Б.А. К вопросу о влиянии поперечно-угловых колебаний корпуса легкобронированных колесных машин на точность стрельбы // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Механика и машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – № 2 – С. 118-121.

Bibliography (transliterated): 1. Rikunov O.N., Nabokov A.V., Mazur I.V., Belov N.L., Sheyko A.I., Tkachuk N.A. Spetsializirovannyye programmno-modelnyie kompleksy dlya analiza dinamicheskikh protsessov // statya napechatana v etom zhurnale. 2. Tolstolutskiy V.A. Matematicheskoe modelirovanie i analiz protsessov v shassi kolesnyih i gusenichnyih mashin / V.A. Tolstolutskiy; pod red. D.O. Volontsevicha. – Kharkov: NTU «KhPI». – 2013. – 171 s. 3. Matematicheskoe modelirovanie protsessov vozmuschennogo dvizheniya agregatov i sistem bronetankovoy tehniki: Ucheb. posobie v 2-h t. – T.1. / E.E. Aleksandrov, D.O. Volontsevich, V.V. Dushenko, V.V. Epifanov, N.V. Kohanovskiy. – Kharkov: NTU «KhPI», 2012. – 356 s. 4. Gritsenko G. D., Malakey A.M., Mirgorodskiy Yu. Ya., Tkachuk N.A., Tkachuk A.V. Integrirovannyye metodyi issledovaniya prochnostnyih, zhestkostnyih i dinamicheskikh harakteristik elementov slozhnyih mehanicheskikh sistem // Vestnik NTU «KhPI». Seriya: Mehanika i mashinostroenie. – Kharkov: NTU «KhPI» – 2002. – # 1. – S.6-13. 5. Tkachuk N.A., Brul S.T., Malakey A.N., Gritsenko G.D., Orlov E.A. Struktura spetsializirovannyih integrirovannyih sistem avtomatizirovannogo analiza i sinteza elementov transportnyih sredstv spetsialnogo naznacheniya // Vestnik NTU «KhPI». Seriya: Mehanika i mashinostroenie. – Kharkov: NTU «KhPI». – 2005. – #1. – S. 184-194. 6. Melnik B.A. K voprosu o vliyani poperechno-uglovyih kolebaniy korpusa legkobronirovannyih kolesnyih mashin na tochnost strelby // Vestnik NTU «HPI». Seriya: Mehanika i mashinostroenie. – Kharkov: NTU «KhPI». – 2012. – # 2 – S. 118-121.

Ткачук Н.А., Рикунев О.Н., Танченко А.Ю.,
Малакей А.Н., Мазур А.Н., Мазур И.В., Набоков А.В.

ВЛИЯНИЕ МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЕВОГО МОДУЛЯ,
БРОНЕКОРПУСА И ПОДВЕСКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ
ОСУЩЕСТВЛЕНИИ СТРЕЛЬБЫ

В статье описан метод исследования степени совокупного влияния массово-инерционных характеристик боевого модуля и жесткостно-демпфирующих характеристик подвески многоколесного транспортного средства специального назначения на точность стрельбы. На примере бронетранспортера БТР-3Е создана численная модель динамической системы «боевой модуль–корпус–подвеска». На систему действует модельная импульсная нагрузка, которая имитирует некоторое условное воздействие от усилий отдачи. Получены характерные картины отклика системы на действие серии этих импульсов. По этим данным строится след от линии канала ствола на экране-мишени. Определяются возможные отклонения снарядов вследствие упругих деформаций от номинального направления на цель.

Созданный программно-модельный комплекс может быть применен для решения задач обоснования параметров проектируемых транспортных средств специального назначения.

Ткачук М.А., Рикунев О.М., Танченко А.Ю.,
Малакей А.М., Мазур О.М., Мазур І.В., Набоков О.В.

**ВПЛИВ МАСОВО-ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЙОВОГО МОДУЛЮ,
БРОНЕКОРПУСУ І ПІДВІСКИ НА ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ
СТРІЛЬБИ**

У статті описано метод дослідження ступеню сукупного впливу масово-інерційних характеристик бойового модулю та жорсткісно-демпфуючі характеристики підвіски багатоколісного транспортного засобу спеціального призначення на точність стрільби. На прикладі бронетранспортера БТР-3Е створена числова модель динамічної системи «бойовий модуль–корпус–підвіска». На систему діє модельне імпульсне навантаження, яке імітує деякий умовний вплив від зусиль віддачі. Отримано характерні картини відгуку системи на дію серії цих імпульсів. За цими даними будується слід від лінії каналу ствола на екрані-мішені. Визначаються можливі відхилення снарядів внаслідок пружних деформацій від номінального напрямки на ціль.

Створений програмно-модельний комплекс може бути застосований для вирішення завдань обґрунтування параметрів проєктованих транспортних засобів спеціального призначення.

Tkachuk N.A., Rikunov O.N., Tanchenko A.Y., Malakey A.N,
Mazur A.N., Mazur I.V., Nabokov A.V.

**THE INFLUENCE OF MASS-INERTIAL CHARACTERISTICS OF COMBAT MODULE,
HULL AND SUSPENSION CHARACTERISTIC ON DYNAMIC PROCESSES IN
IMPLEMENTING SHOTS**

This paper describes a method of study of the combined effects of mass-inertial characteristics of the combat unit and stiffness-damping characteristics of the suspension multiwheel special-purpose vehicle for accuracy. On the example of armored troop-carrier 3E created a numerical model of a dynamical system "combat unit-body-suspension." Acts on the system model impulse load that simulates a conditional impact on the efforts of the recoil. The characteristic pattern of the system response to the action of a series of pulses. According to this data is constructed as follows from the line of the bore on the screen of the target. Identifies possible deviations due to elastic deformation of shells of the rated direction on the target.

Create a software model complexes can be applied to solve problems justification parameters designed special purpose vehicles.