

УДК-632.438.14

Токарь С.Е., Каторгин А.Н., Дудко В.В., Сергиенко А.А., Павлов А.Е.

## АНАЛИЗ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД УСТАНОВКУ МИНОМЕТА КАЛИБРА 120 мм НА ШАССИ БРОНЕТРАНСПОРТЕРА

**Актуальность темы.** Минометы остаются важным элементом артиллерии сухопутных войск. Навесной огонь минометов позволяет эффективно поражать различные цели, недоступные обычным артиллерийским системам, и поддерживать действия пехоты. Главной тенденцией развития минометов в последние годы стало создание самоходных минометных установок на шасси боевых бронированных машин (ББМ). Применение самоходных шасси в качестве платформы для размещения миномета положительным образом сказывается на его возможностях. Во-первых, повышается мобильность оружия, во-вторых, броня базовой машины защищает расчет миномета от пуль и осколков. Наконец, характеристики базовых шасси позволяют увеличить боекомплект и оптимизировать ряд других характеристик минометной системы.

В ГП «ХКБМ» разработана и создана самоходная минометная установка на базе шасси бронетранспортера БТР-3Е, вооруженная минометом калибра 120-мм.

При стрельбе из стандартного армейского миномета сила отдачи, в основном, воспринимается его плитой, которая установлена на грунт. Ударный импульс 120-мм миномета, возникающий при отдаче, достигает порядка 120...140 тонн длительностью 6...7 мс.

При установке миномета на шасси, силу отдачи выстрела воспринимают элементы конструкции корпуса, подвеска и колеса. Кроме того, значительные ударные ускорения, в основном, в вертикальном направлении, оказывают негативное воздействие на боевой расчет миномета. Поэтому, актуальной становится задача по снижению воздействия ударного импульса на шасси и боевой расчёт самоходного миномета во время стрельбы.

Для снижения ударного импульса используются механические, гидравлические, пневматические и комбинированные противооткатные устройства. Ввиду значительной энергии отката при выстреле такие противооткатные устройства имеют сложную конструкцию. К таким системам предъявляются высокие требования по надежности и прочности, что приводит к удорожанию их конструкции.

В данной статье описывается методика испытаний, и приводятся демпфирующие свойства различных материалов, как альтернатива к вышеупомянутым противооткатным устройствам, предназначенным для снижения ударных нагрузок на шасси при выстреле из миномета.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Elbit Systems представила 120-ти миллиметровую автономную минометную систему с мягкой отдачей Soltam SPEAR, предназначенную для легких колесных платформ. Новая система представляет собой второе поколение минометных систем CARDOM, получившие широкое распространение в армии США на колесных бронетранспортерах (БТР) Stryker и в Армии обороны Израиля на БТР М-113, известные под названием Keshet.

Запатентованная система отдачи, используемая в этой системе, снижает силу отдачи при стрельбе (около 120-и тонн) до 10 тонн, таким образом, позволяя относительно легким шасси в течение нескольких секунд справиться с сотрясением, возникающим в результате стрельбы.

**Цель и постановка задачи.** Оценка демпфирующих свойств различных материалов и элементов конструкций, предназначенных для снижения ударных нагрузок, действующих при стрельбе из миномета калибра 120 мм, установленного на шасси бронетранспортера БТР-3Е.

**Основная часть.** Проведенные испытания в ГП «ХКБМ» различных материалов и элементов конструкции (далее образцы) выполнялись по следующей методике.

Испытания образцов проводились в стендовых условиях при двух вариантах:

- статические испытания – определение жесткости и гистерезиса испытываемых образцов;
- динамические испытания – определение ударных нагрузок (усилий и ускорений) при сбрасывании на образцы груза на копровом стенде.

Статические испытания образцов проводились на испытательной машине Р-5. Диаграммы нагруженных образцов определялись с помощью измерительного комплекса LTR. Для этого использовались силоизмеритель ДОСМ-5 с наклеенным на него тензорезистором и датчик перемещения типа Вт.

Динамические испытания образцов проводились на копровом стенде. Груз кубической формы и весом 700 кгс сбрасывался на образцы с высот от 200 до 1000 мм. Для измерения ударного импульса и его

длительности образцы устанавливались на силоизмерительную платформу (три силоизмерителя ТПА-12), а датчик ускорения ДУ-5С-100 жестко закреплялся на грузе в вертикальном направлении.

Регистрация параметров проводилась с помощью измерительного комплекса LTR, обработка – с помощью программного комплекса автоматизации экспериментальных и технологических установок «ACTest».

Испытания проводились со следующими материалами и элементами конструкции: резиной (твёрдостью Р66, Р72 и Р92), полиуретаном СКУ-7Л, цилиндрической пружиной (подвеска железнодорожного состава, имеющая жесткость  $C=800$  Н/мм) и амортизатором пушки ЗТМ-1 (2А72). Амортизатор пушки состоит из набора чередующихся кольцевых колец с наружными и внутренними коническими поверхностями. Для статических испытаний образцы из резины и полиуретана вырезались площадью  $12 \text{ см}^2$  и высотой 40 мм, а для динамических –  $48 \text{ см}^2$  и высотой 40, 80 и 120 мм.

Диаграммы сжатия образцов из резины и полиуретана приведены на рисунке 1, амортизатора пушки ЗТМ-1 – на рисунке 2.

Величина рассеивание энергии внутри материала  $\Psi$ , % определялась по формуле:

$$\psi = \frac{\int_0^s P_1 \partial s - \int_0^s P_2 \partial s}{\int_0^s P_1 \partial s} \cdot 100, \%$$

где  $P_1$  – усилие при прямом ходе нагружения, тс;  $P_2$  – усилие при обратном ходе нагружения, тс;  $s$  – деформация, мм.

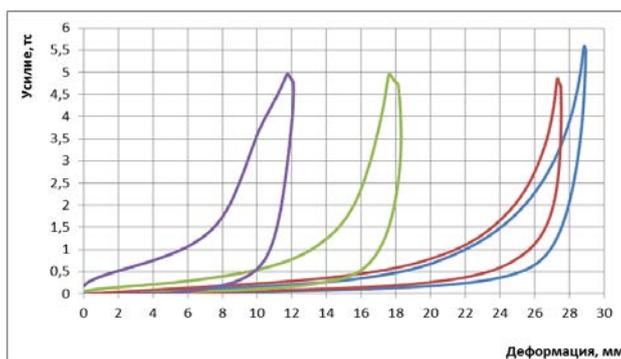


Рисунок 1 – Зависимость усилия (нагрузка – разгрузка) от деформации полиуретана и резины площадью  $12 \text{ см}^2$  и высотой 40 мм

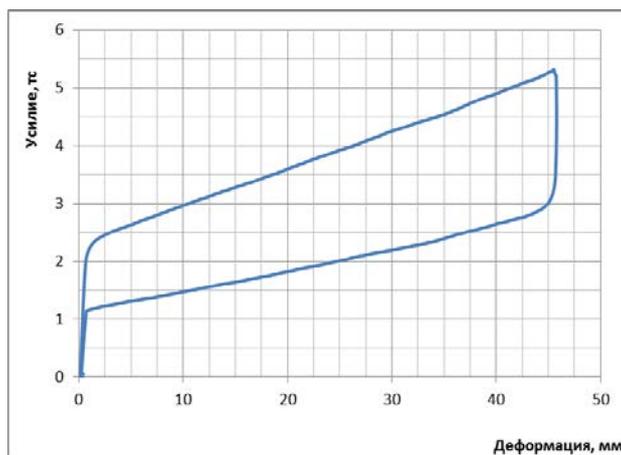


Рисунок 2 – Зависимость усилия (нагрузка – разгрузка) от деформации амортизатора пушки ЗТМ-1

Высоким коэффициентом рассеивания энергии обладает амортизатор пушки ЗТМ-1. Силы трения, возникающие при перемещении колец, обуславливают высокую демпфирующую способность кольцевых

пружин. Примерно 70 % энергии, воспринимаемой пружиной за цикл нагружения, переходит в необратимую работу трения и рассеивается в виде теплоты в окружающую среду. У резины P92 и P78 коэффициент рассеивания составил 77 % и 76 % соответственно, у резины P66 и полиуретана – 63 %.

Из приведенных диаграмм видно, что повышение твердости резины приводит к повышению остаточной деформации. Полиуретан, в отличие от резины, полностью восстанавливает свою первоначальную форму после приложения нагрузки.

Результаты испытаний образцов на копрвом стенде приведены в таблице 1.

Цилиндрические пружины, как и кольцевые, снижают ударный импульс, увеличивая время его воздействия, но при этом затухание колебаний происходит медленно (20...30 колебаний), а у кольцевых, при тех же условиях испытаний – 3...4 колебания. Максимальная энергия, которую могут аккумулировать эти пружины, составляет 2000...2500 Дж. Поэтому, испытания были продолжены с резиной и полиуретаном, результаты которых приведены в таблице 2 и на рисунках 3–5.

Прикладываемая энергия к образцам на копрвом стенде определялась по формуле:

$$E = mgh, \text{ Дж},$$

где  $m$  – масса сбрасываемого груза, кг;  $h$  – высота падения, м.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов на копрвом стенде

| Вид удара              | Высота падения груза, мм | Сила реакций тензоизмерителей P, тс | Ударный импульс a, g | Длительность импульса t, с |
|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Жесткий удар           | 235                      | 70                                  | 100                  | 0,006                      |
| Амортизатор пушки      | 300                      | 6,0                                 | 9,0                  | 0,102                      |
| Амортизатор пушки      | 215                      | 5,0                                 | 7,5                  | 0,100                      |
| Цилиндрическая пружина | 210                      | 5,6                                 | 8,0                  | 0,102                      |
| Полиуретан (40 мм)     | 200                      | 23,1                                | 33                   | 0,025                      |
| Резина P66 (40 мм)     | 200                      | 42                                  | 60                   | 0,024                      |
| Резина P78 (40 мм)     | 200                      | 29,4                                | 42                   | 0,027                      |
| Резина P92 (48 мм)     | 200                      | 27,0                                | 39                   | 0,021                      |
| Полиуретан (80 мм)     | 200                      | 12,5                                | 18                   | 0,075                      |
| Резина P66 (80 мм)     | 200                      | 17,8                                | 0,073                | 0,073                      |
| Резина P78 (80 мм)     | 200                      | 12,9                                | 0,065                | 0,065                      |
| Резина P92 (70 мм)     | 200                      | 18,4                                | 0,030                | 0,030                      |
| Полиуретан (120 мм)    | 200                      | 9,6                                 | 0,108                | 0,108                      |
| Резина P66 (120 мм)    | 200                      | 12,5                                | 0,114                | 0,114                      |
| Резина P78 (120 мм)    | 200                      | 9,1                                 | 0,100                | 0,100                      |
| Резина P92 (120 мм)    | 200                      | 12,8                                | 0,044                | 0,044                      |

Таблица 2 – Результаты сравнительных испытаний резины и полиуретана на копрвом стенде

| Материал   | Толщина | Реакции силоизмерителя, тс (длительность, мс)        |           |           |           |            |
|------------|---------|--|-----------|-----------|-----------|------------|
|            |         | Высота падения груза, мм (потенциальная энергия, Дж) |           |           |           |            |
|            |         | 200(1370)  | 400(2750) | 600(4120) | 800(5490) | 1000(6870) |
| Полиуретан | 40      | 23,1 (25)  | 50,0 (20) | 80 (17)   | –         | –          |
|            | 80      | 12,5 (75)  | 27,0 (60) | 51,0 (45) | –         | –          |
|            | 120     | 9,6 (108)  | 21,6 (80) | 32,4 (75) | 45,0 (63) | 56,4 (47)  |
| Резина P66 | 40      | 42,0 (24)  | 80,0 (18) | –         | –         | –          |
|            | 80      | 17,8 (73)  | 35,1 (35) | 65,0 (25) | –         | –          |
|            | 120     | 12,5 (114)   | 25,0 (63) | 45,0 (48) | 70,0 (23) | 90 (10)    |
| Резина P78 | 40      | 29,4 (27)  | 47,7 (18) | 70,0 (15) | –         | –          |
|            | 80      | 12,9 (65)  | 23,3 (39) | 44,6 (31) | –         | –          |
|            | 120     | 9,1 (100)  | 16,3 (69) | 24,8 (56) | 38,0 (42) | 47,3 (31)  |
| Резина P92 | 48      | 27,0 (21)  | 37,6 (17) | 65,0 (15) | –         | –          |
|            | 70      | 18,4 (30)  | 29,6 (24) | 48,0 (20) | –         | –          |
|            | 120     | 12,8 (44)  | 19,7 (37) | 28,5 (34) | 35,6 (30) | 43,5 (28)  |

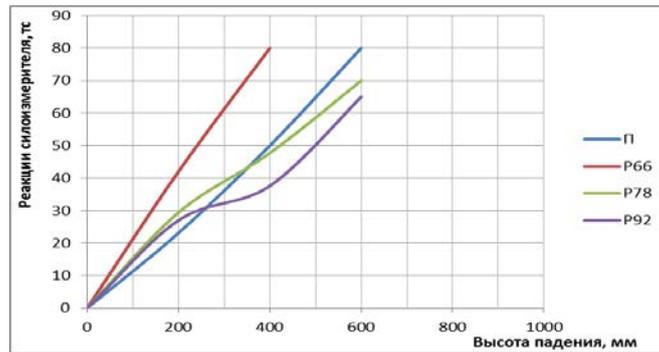


Рисунок 3 – Зависимость реакции силоизмерителя от высоты падения груза на образцы площадью 48 см<sup>2</sup> и высотой 40 мм

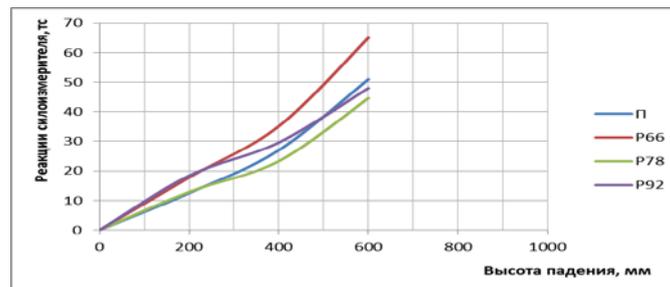


Рисунок 4 – Зависимость реакции силоизмерителя от высоты падения груза на образцы площадью 48 см<sup>2</sup> и высотой 80 мм

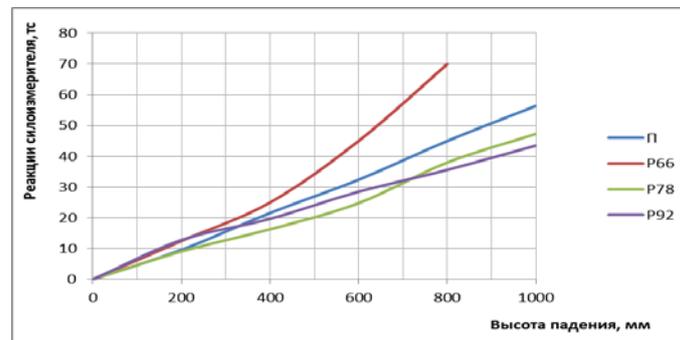


Рисунок 5 – Зависимость реакции силоизмерителя от высоты падения груза на образцы площадью 48 см<sup>2</sup> и высотой 120 мм

Из приведенных результатов испытаний видно, что полиуретан и резина (P78 и P92) имеют практически одинаковые демпфирующие свойства. Но в процессе испытаний, с увеличением высоты падения груза на испытываемые образцы, происходило разрушение резины P92 (образование трещин и надломов) и появление остаточных деформаций у резины P78 и P66. Разрушение полиуретана и изменение его формы не происходило.

Таким образом, для снижения ударных нагрузок при стрельбе из миномета калибра 120 мм лучшие показатели имеют амортизирующие устройства, в которых в качестве демпфирующего элемента используется полиуретан, так как он обладает большой удельной энергоемкостью, высоким внутренним трением, надежностью и устойчивостью к разрушению, а также минимальными массогабаритными параметрами.

Результаты статических и динамических испытаний, проведенных по вышеуказанной методике, позволили выбрать материал, рассчитать количество и геометрию упругих элементов в демпфирующей опоре.

Разработанная и изготовленная в ГП «ХКБМ» демпфирующая опора под установку миномета калибра 120 мм на шасси бронетранспортера БТР-3Е позволила значительно снизить ударное воздействие на шасси и боевой расчет самоходного миномета, что было подтверждено стрельбовыми испытаниями.

#### Выводы

1. Предложенная методика оценки демпфирующих свойств различных материалов при статических и динамических испытаниях позволила выбрать материал и его массогабаритные параметры для снижения ударных нагрузок при выстреле из миномета.
2. Стрельбовые испытания подтвердили правильность выбора демпфирующего материала, применение которого значительно снизило ударные нагрузки на самоходное шасси и экипаж.
3. Полученные результаты испытаний могут быть использованы для выбора различных буферных устройств и для уточнения теоретического расчета демпфирующих конструкций.

#### Литература

1. Результаты определения ударных нагрузок на самоходном миномете БТР-3Е: акт ГП «ХКБМ» им. А.А. Морозова. – Харьков, 2012. – 8 с.
2. <http://www.elbitsystems.com> – официальная веб-страница компании “Elbit Systems”.
3. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. Кн.2.– М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Rezul'tati opredelehiya udarnyh nagruzok na samohodnom minomete BTR-3E: akt GP “HKBM” im. A.A. Morozova. – Har'kov, 2012. – 8 p.
2. <http://www.elbitsystems.com> – oficial'na veb-stranica kompanii “Elbit Systems”.
3. P.I. Orlov. Osnovy konstruirovaniya: Spravochno-metodicheskoe posobie. Kn.2. – M.: Machinostroenie, 1988. – 560 p.

УДК-632.438.14

Токар С.Є., Каторгін О.М., Дудко В.В., Сергієнко О.О., Павлов О.Є.

#### АНАЛІЗ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ВСТАНОВЛЕННЯ МІНОМЕТА КАЛІБРА 120 мм НА ШАСІ БРОНЕТРАНСПОРТЕРА

У статті наведені результати досліджень різних матеріалів, що дозволяють зменшити динамічні навантаження самохідної установки при стрільбі з міномету калібром 120 мм, встановленому на шасі бронетранспортера БТР-3Е.

Tokar S.E., Katorgin O.M., Dudko V.V., Serhiienko O.O., Pavlov O.E.

#### ANALYSIS OF THE DAMPING PROPERTIES OF VARIOUS MATERIALS USED FOR INSTALLING A 120 mm MORTAR ON THE ARMoured PERSONNEL CARRIER

The article describes the results of studying various materials that make it possible to decrease dynamic loads of the self-propelled system when firing 120 mm mortar installed on the BTR-3E armoured personnel carrier.