

АНТРОПОМОРФНЫЙ МАКЕТ НОГИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРАВМОБЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖА АВТОБРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ ПРИ МИННО-ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Гаврилов Е.В.

Московский политехнический университет, Москва, Россия, andhover@mail.ru

В статье представлены результаты разработки и испытаний антропоморфного макета ноги, позволяющего определять травмобезопасность ног при минно-взрывном воздействии. Как показывает статистика, ноги экипажа автобронетанковой техники, а также водителя и пассажиров специальных защищенных гражданских автомобилей подвержены сильному динамическому воздействию при минно-взрывном воздействии, вследствие чего имеет место повышенный уровень травматизма этой части тела. При разработке защищенной техники особое внимание уделяется травмобезопасности ног. Поскольку антропоморфные измерительные манекены, используемые при испытаниях на минно-взрывное воздействие, имеются в ограниченном количестве, а определить необходимо травмобезопасность большого количества человек, то было решено разработать антропоморфный макет ноги. Антропоморфный макет ноги состоит из несущего модуля М2А-02 с адаптером-втулкой М3А-01, стопы модели 723/8, пружины, имитирующей жесткость голени, а также весового цилиндра, догружающего недостающую массу голени и половину массы бедра. Для определения осевого усилия в голени используется специальный датчик хода. По измеренному сжатию и имеющейся жесткости пружины вычисляется пиковое осевое усилие. Антропоморфный макет ноги был тарирован на специальном копровом стенде по сбросу. Производился сброс с различных высот от 0,46 м до 2,5 м на различные поверхности – песок и сталь толщиной 8 мм. Также производился сброс ноги, обутый в уставной ботинок. После тарировки устройство было использовано в натурных испытаниях подрывом специального гражданского защищенного автомобиля для определения травмобезопасности ног водителя и пассажиров. По результатам работы был сделан вывод, что макет ноги может быть использован при испытаниях специальных гражданских защищенных автомобилей, а также автобронетанковой техники на минно-взрывном воздействии.

Ключевые слова: травмобезопасность, антропоморфный макет ноги, автобронетанковая техника, специальные гражданские защищенные автомобили.

Введение

Нижняя часть ног (колени, голень, стопа) водителя и пассажиров специально защищенных автомобилей, а также экипажа АБТ (автобронетанковой техники) является одной из уязвимых частей тела при минно-взрывном воздействии, направленном при подрыве под колесом (гусеницей) или под днищем транспортных средств.

Тщательный учет потерь армии США (как с летальным, так и нелетальным исходом) позволил сформировать статистические данные о ранениях частей тела (рис. 1) [1].

По данным газеты *Washington Post* [2] 2/3 смертей контингента войск США, размещенных в Ираке и Афганистане, приходится на взрывы от СВУ (Самодельных взрывных устройств).

Оуэнс [3] изучил историю болезни 1566 военнослужащих, участвовавших в операциях «Иракская свобода» и «Несокрушимая свобода»

и получивших 6,609 ранений. Он определил, что чаще всего происходили переломы голени, реже – переломы бедра и стопы (табл. 1). Более 75% переломов были открытыми.

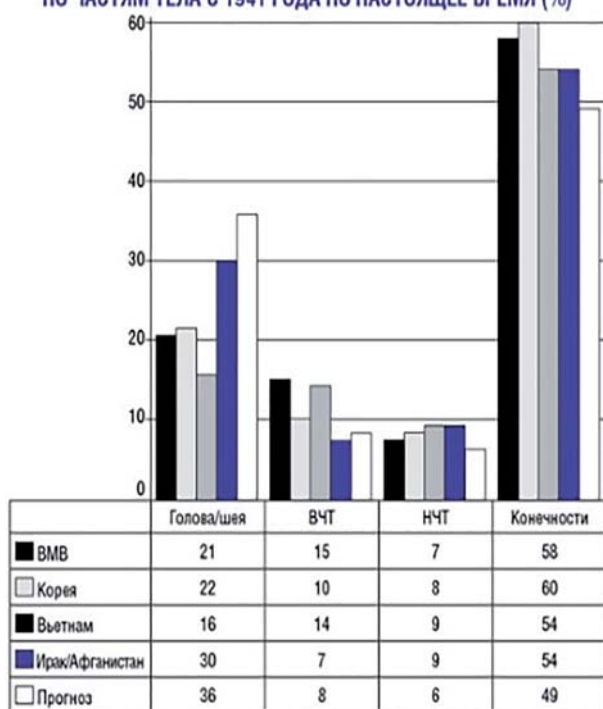
Таким образом, защита ног при минно-взрывном воздействии является одной из актуальных задач на сегодняшний день.

Таблица 1

Процентное отношение травм бедра, лодыжки и стопы военнослужащих США, участвовавших в операциях «Иракская свобода» и «Несокрушимая свобода»

Переломы	Процентное отношение от общего количества переломов нижних конечностей	Процентное отношение открытых переломов
Бедро	27%	87%
Лодыжка	48%	79%
Стопа	25%	76%

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАНЕНИЙ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ США ПО ЧАСТЯМ ТЕЛА С 1941 ГОДА ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ (%)



Прим. ВМВ – Вторая мировая война, ВЧТ – верхняя часть тела, НЧТ – нижняя часть тела, графа «Прогноз» основывается на данных, получаемых с 2006–2007 годов. Данные могут незначительно расходиться с информацией других источников. Из-за округления данных в ряде случаев суммарное число ранений в ту или иную часть тела может не достигать 100%.

Рис. 1. Распределение ранений военнослужащих США по частям тела с 1941 г. по 2013 г.

Цель исследования

Для оценки эффективности мероприятий по защите ног необходимы объективные данные по динамическому воздействию со стороны пола при подрыве изделия на mine.

В настоящее время в качестве критерия травмобезопасности ног используется критерий пиковых осевых усилий, возникающих в голени ноги антропоморфного измерительного манекена *Hybrid 3*. При использовании стандартной ноги критическим значением является значение 5,4 кН, измеренное в нижнем тензодатчике, при использовании «военной» ноги *Mil-LX* критическое значение – 2,6 кН, измеренное в верхнем тензодатчике. Другим возможным критерием травмобезопасности является скорость удара днища (или пола) АБТ по ногам в момент подрыва. Критическое значение скорости удара было выбрано из многократно проверенной безопасной скорости удара ног о землю при приземлении на аварийном парашюте. Допустимая скорость приземления [4] равняется 8,5 м/с, при этом суммарная потерянная скорость за счет отскока будет

значительно больше, что идет в некоторый запас по травмобезопасности.

Антропоморфные измерительные манекены – сложные и дорогостоящие технические средства измерения, требующие постоянного обслуживания (тарировка как отдельно датчиков, так и частей манекена). Использование манекенов является трудоемким процессом, связанным с предварительной проверкой всех каналов датчиков до испытания, использования специального программного обеспечения для измерения во время подрыва, а также обработка сигналов датчиков после испытания с выдачей результатов относительно травмобезопасности транспортного средства. Сами испытания на подрыв весьма дорогостоящие и к тому же обычно достаточно сильно разрушают испытываемый объект, что исключает возможность проводить повторные эксперименты. Кроме того, часто проводится подрыв части конструкции, например, фрагмента днища. Использование манекенов при таких испытаниях невозможно в силу высокой вероятности повреждения или уничтожения указанного дорогостоящего оборудования. Число манекенов, как правило, весьма ограничено, а требуется получить данные о перегрузках на разных участках днища изделия.

Решение задач определения травмобезопасности ног экипажа автобронетанковой техники при минно-взрывном воздействии

В силу вышесказанного возникла проблема разработки простого и дешевого антропоморфного макета ноги, позволяющего определить травмобезопасность в следствии оценки скорости удара. Указанный макет ноги был рассчитан, разработан и испытан [5, 6].

Для большего соответствия антропоморфным данным человека было решено разработать макет ноги, измеряющий осевое усилие в голени. В качестве ступни была использована стопа протеза человеческой ноги, энергосберегающая, рассчитанная на массу человека до 100 кг, размером 27, правая (и левая), модель 723/8.

Внешний вид антропоморфного макета ноги, закрепленной на испытательном стенде сброса, представлен на рис. 2а. Весовой цилиндр (рис. 2б) имитирует недостающую массу голени и половину массы бедра. Пружина, изображенная на рис. 2в, предназначена

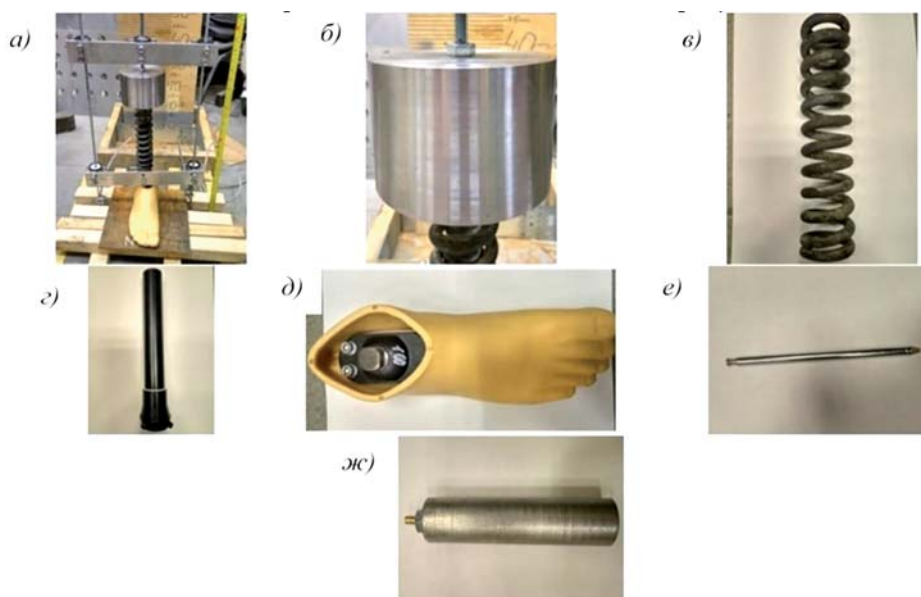


Рис. 2. Антропоморфный макет ноги (а), весовой цилиндр (б), пружина (в), несущий модуль М2А-02 с адаптером-втулкой М3А-01(з), стопа протеза модель 723/8 (д), датчик хода (е), втулка (ж)

для измерения усилия, возникающего в голени при ударе. Нога состоит из несущего модуля М2А-02 с адаптером-втулкой М3А-01 (рис. 2з) и стопы модели 723/8 (рис. 2д). Измерение перемещения осуществляется за счет специального датчика, представленного на рис. 2е. Датчик хода крепится через резьбовое соединение на втулке (рис. 2ж), которая в свою очередь устанавливается в несущий модуль М2А-02.

Жесткость пружины была измерена на учебной универсальной испытательной машине «Механические испытания материалов» и составляет 136,4 Н/мм (рис. 3).

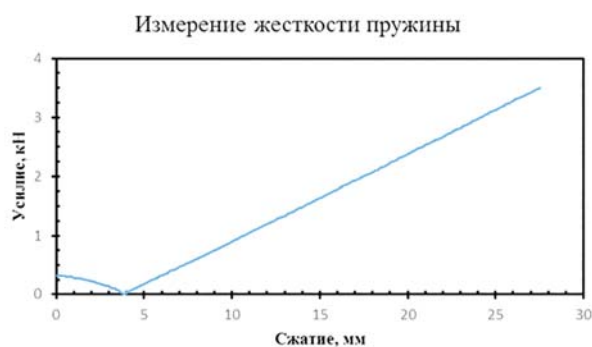
Антропоморфный макет ноги устанавливается в испытуемый образец АБТ на пол в районе рабочего места, где расположены ноги экипажа. Несущий модуль М2А-02 с адаптером-втулкой М3А-01 прикручивается на установочное место к стопе четырьмя винтами. На несущий модуль одевается пружина.

К весовому цилиндру через шпильку прикручивается втулка, к которой в свою очередь прикручивается датчик хода. Втулка вместе с датчиком и весовым цилиндром устанавливается в несущий модуль до касания весового цилиндра пружины. Предварительно датчик перемещения вытягивается на длину большую, чем необходимо для соприкосновения со специальной площадкой, расположенной на стопе. Далее весовой цилиндр вместе с втулкой и датчиком аккуратно извлекается, и производится замер длины датчика. После испытаний длина датчика снова измеряется. Разница между показаниями является максимальной величиной сжатия пружины. После измерения сжатия пружины рассчитывается максимальное осевое усилие.

Схема измерения усилия в антропоморфном макете ноги представлена на рис. 4.



Рис. 3. Измерение жесткости пружины



Распределение веса конструкции ноги представлено в табл. 2.

Таблица 2

Вес элементов конструкции

Элемент конструкции	Количество	Вес (г)
Цилиндр весовой	1	7110
Втулка	1	394
Датчик	1	6
Пружина	1	908
Стопа	1	642
Трубка	1	174
Суммарный вес		9234 г

Перед проведением испытаний подрывом антропоморфный макет ноги был испытан путем сбрасывания. Всего было проведено 3 серии испытаний при сбросе с разных высот при скорости соударения 3 ... 7 м/с на 2 типа поверхности: жесткую поверхность (стальная пластина толщиной 8 мм) и мягкую (ящик с просеянным песком). В первой серии испытаний было произведено 32 сброса, во второй – 46, а в третьей – 43.

В первой серии испытаний измерялась высота сброса, высота отскока (по скоростной видеосъемке и мерной линейке), а также мак-

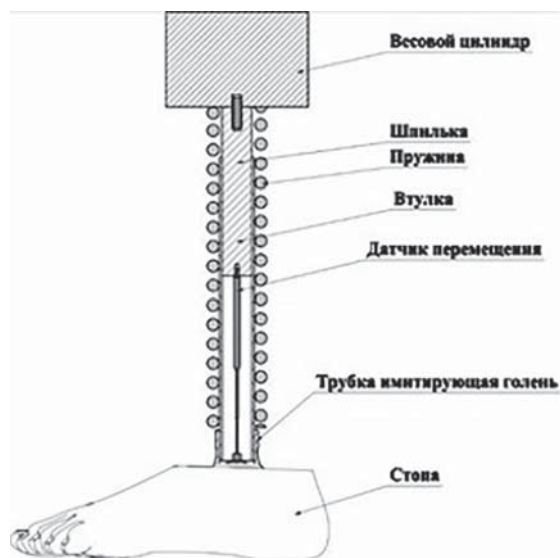


Рис. 4. Схема измерения усилия в антропоморфном макете ноги

симальное сжатие в пружине. Во второй серии дополнительно было установлено 2 датчика ускорения (общий вид установки датчиков представлен на рис. 5а, общий вид при сбросе в ботинке представлен на рис. 5б: емкостной датчик АТ 1105-100 (рис. 5в) установлен на весовом цилиндре, имитирующем недостающую массу голени и половину массы бедра, пьезоэлектрический датчик «ВиК» 4368 установлен

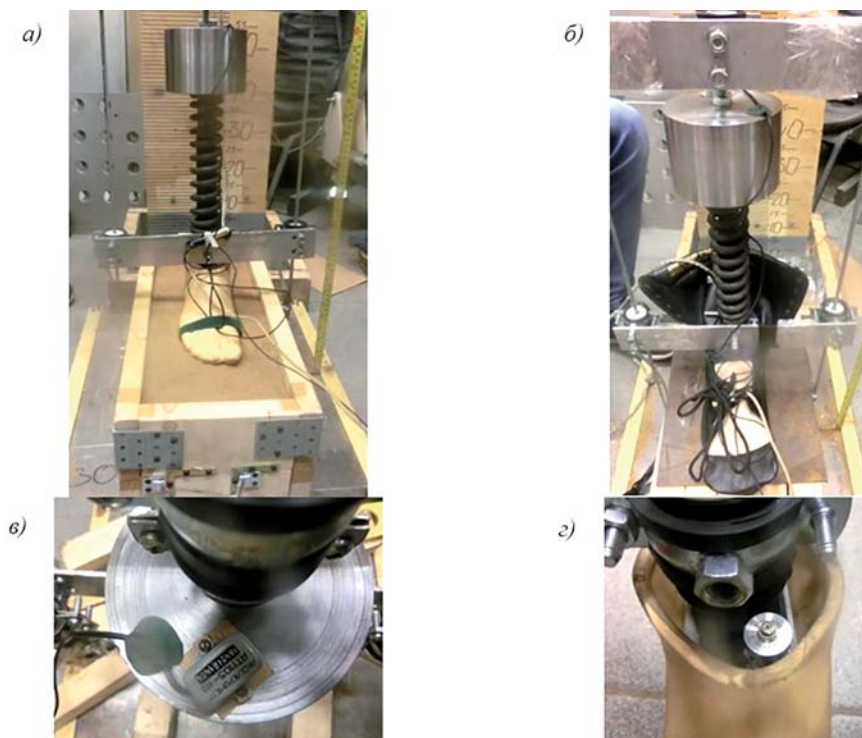


Рис. 5. Установка датчиков:

а – в антропоморфный макет ноги; б – в антропоморфный макет ноги при сбросе в ботинке; в – емкостного датчика АТ 1105-100 на весовом цилиндре; г – пьезоэлектрического датчика «ВиК» 4368 на стопе

на стопе, как показано на рис. 5г.

Третья серия испытаний проводилась аналогично второй. Однако дополнительно было установлено 2 датчика ускорения другой марки: датчик АП 31 № 2014 («Глобал тест», Саров) (рис. 6а) – на весовом цилиндре, имитирующем недостающую массу голени и половину массы бедра, датчик АП 31 № 2011 («Глобал

тест», Саров) – на стопе, как показано на рис. 6б. Для регистрации сигнала используется усилитель СА-2614 № 4906 («Центр АЦП», Москва), АЦП Е-14-440 («L-card», Москва), а также ноутбук с установленным специальным программным обеспечением.

В табл. 3 приведены результаты третьей серии испытаний.

Таблица 3

Результаты испытаний третьей серии сброса антропоморфного макета ноги

Результаты сброса антропоморфного макета ноги										
№ Сброса	Высота сброса (м)	Поверхность	Объект испытания	Показания датчика (мм)	Усилие в пружине (кг)	Скорость падения (м/с)	Внедрение (см)	Высота отскока (м)	Скорость отскока (м/с)	Суммарная скорость (м/с)
1	0,46	Песок	Модель ноги	10	139,0	3	0,4	0,07	1,2	4,2
2	0,46	Песок	Модель ноги	10	139,0	3	0,4	0,08	1,3	4,3
3	0,46	Песок	Модель ноги	14	194,7	3	0,5	0,08	1,3	4,3
4	0,82	Песок	Модель ноги	17	236,4	4	0,6	0,13	2,0	6
5	0,82	Песок	Модель ноги	18	250,3	4	0,6	0,18	2,3	6,3
6	0,82	Песок	Модель ноги	17	236,4	4	0,6	0,17	2,3	6,3
7	1,27	Песок	Модель ноги	26	361,5	5	0,8	0,29	3,0	8
8	1,27	Песок	Модель ноги	18	250,3	5	0,7	0,16	2,2	7,2
9	1,27	Песок	Модель ноги	25	347,6	5	0,7	0,18	2,3	7,3
11	1,84	Песок	Модель ноги	29	403,2	6	0,9	0,45	3,7	9,7
12	1,84	Песок	Модель ноги	16	222,5	6	0,8	0,16	2,2	8,2
13	2,5	Песок	Модель ноги	34	472,7	7	1,5	0,58	4,1	11,1
14	2,5	Песок	Модель ноги	30	417,1	7	1,5	0,44	3,6	10,6
15	2,5	Песок	Модель ноги	33	458,8	7	1,6	0,51	3,9	10,9
16	0,46	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	10	139,0	3	-	0,08	1,5	4,5
17	0,46	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	5	69,5	3	-	0,12	1,9	4,9
18	0,46	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	5	69,5	3	-	0,13	2,0	5
19	0,82	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	13	180,8	4	-	0,12	1,9	5,9
20	0,82	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	12	166,9	4	-	0,12	1,9	5,9
21	0,82	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	12	166,9	4	-	0,09	1,7	5,7
22	1,27	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	19	264,2	5	-	0,16	2,2	7,2
23	1,27	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	20	278,1	5	-	0,21	2,5	7,5
24	1,27	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	19	264,2	5	-	0,28	2,9	7,9
25	1,84	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	27	375,4	6	-	0,23	2,6	8,6
26	1,84	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	25	347,6	6	-	0,22	2,5	8,5
27	1,84	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	27	375,4	6	-	0,24	2,7	8,7
28	2,5	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	37	514,5	7	-	0,47	3,7	10,7
29	2,5	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	32	444,9	7	-	0,42	3,5	10,5
30	2,5	Сталь А3 8 мм	Модель ноги	32	444,9	7	-	0,36	3,3	10,3
31	0,46	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	19	264,2	3	-	0,21	2,5	5,5
32	0,46	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	19	264,2	3	-	0,24	2,7	5,7
33	0,82	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	23	319,8	4	-	0,37	3,3	7,3
34	1,27	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	29	403,2	5	-	0,56	4,0	9
35	1,84	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	34	472,7	6	-	0,70	4,5	10,5
36	1,84	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	34	472,7	6	-	0,75	4,7	10,7
37	2,5	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	50	695,2	7	-	0,87	5,0	12
38	2,5	Сталь А3 8 мм	Модель ноги в ботинке	47	653,5	7	-	0,94	5,3	12,3
39	0,46	Песок	Модель ноги в ботинке	20	278,1	3	0,3	0,21	2,5	5,5
40	0,82	Песок	Модель ноги в ботинке	21	292,0	4	0,4	0,28	2,9	6,9
41	1,27	Песок	Модель ноги в ботинке	28	389,3	5	0,4	0,46	3,7	8,7
42	1,84	Песок	Модель ноги в ботинке	33	458,8	6	0,4	0,69	4,5	10,5
43	2,5	Песок	Модель ноги в ботинке	45	625,7	7	0,4	0,8	4,9	11,9

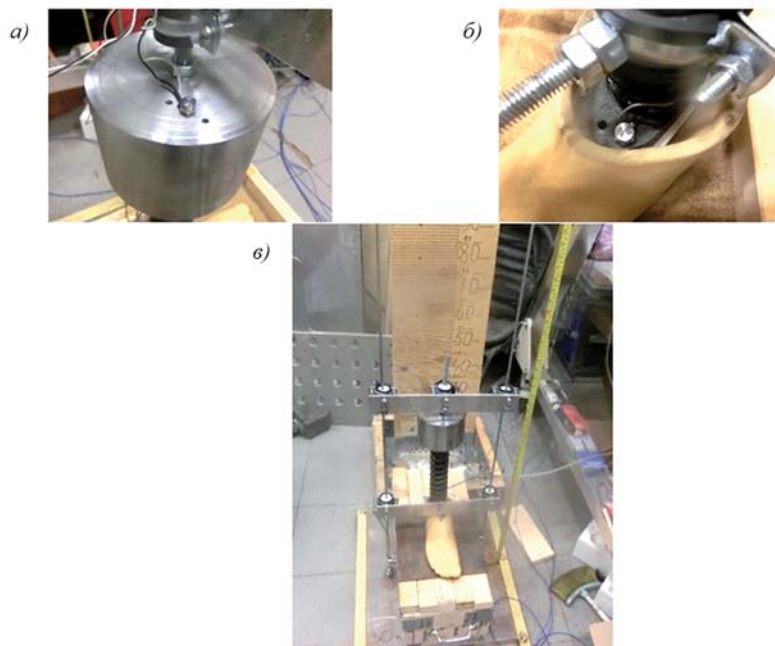


Рис. 6. Внешний вид антропоморфного макета ноги с подключенными датчиками

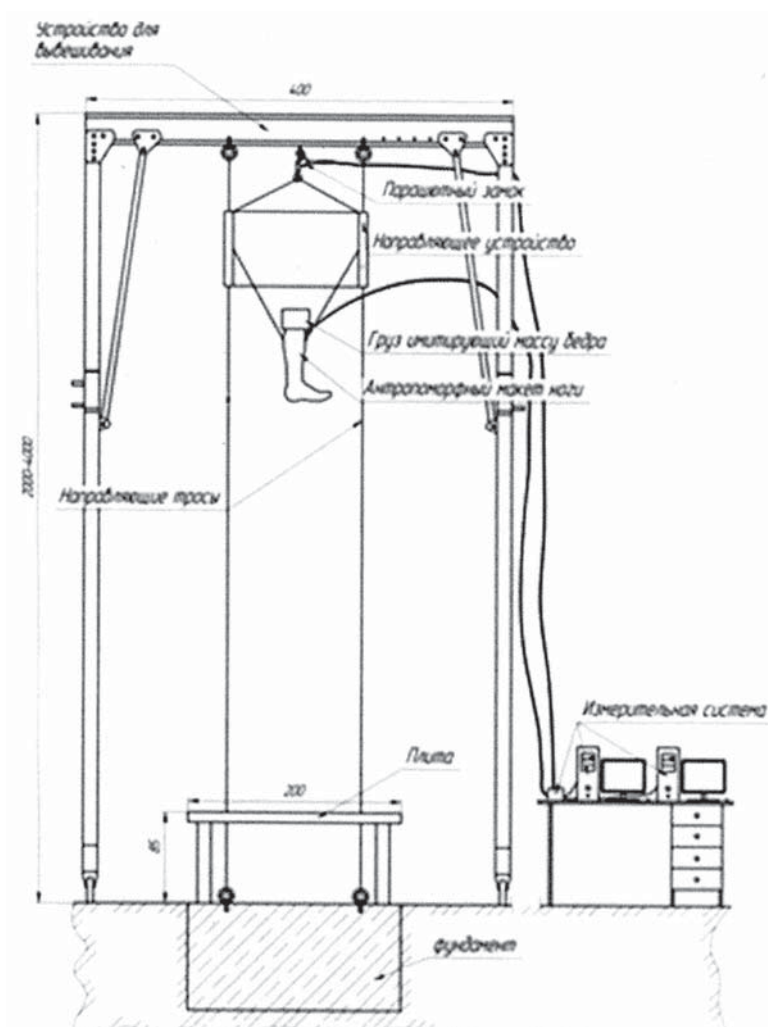


Рис. 7. Схема испытаний антропоморфного макета ноги

На рис. 8 представлены примеры типичных графиков перегрузки, зарегистрированных на стопе и на весовом цилиндре при сбросе антропоморфного макета ноги.

После проведения стендовых испытаний антропоморфные макеты ног были использованы для оценки уровня защищенности от минно-взрывного воздействия на макете днища специального защищенного гражданского автомобиля. Проведенные испытания с замерами усилий в ногах показали, что мероприятия по противоминной защите обеспечивают требования по травмобезопасности экипажа для уровня минно-взрывного воздействия заданного в техническом задании на изделие. Установка макетов ног показана на рис. 9.

Заключение

Таким образом, был рассчитан, разработан, изготовлен и тарирован антропоморфный макет ноги, являющийся альтернативой ногам антропоморфного измерительного манекена *Hybrid 3* и ноге *Mil-LX* при определении травмобезопасности ноги при минно-взрывном воздействии. Такой простой и недорогой измерительный прибор может использоваться как совместно с антропоморфными измерительными манекенами для обеспечения дублирования измерений осевых усилий при испытаниях, так и отдельно для получения данных о травмобезопасности на нескольких или всех рабочих местах.

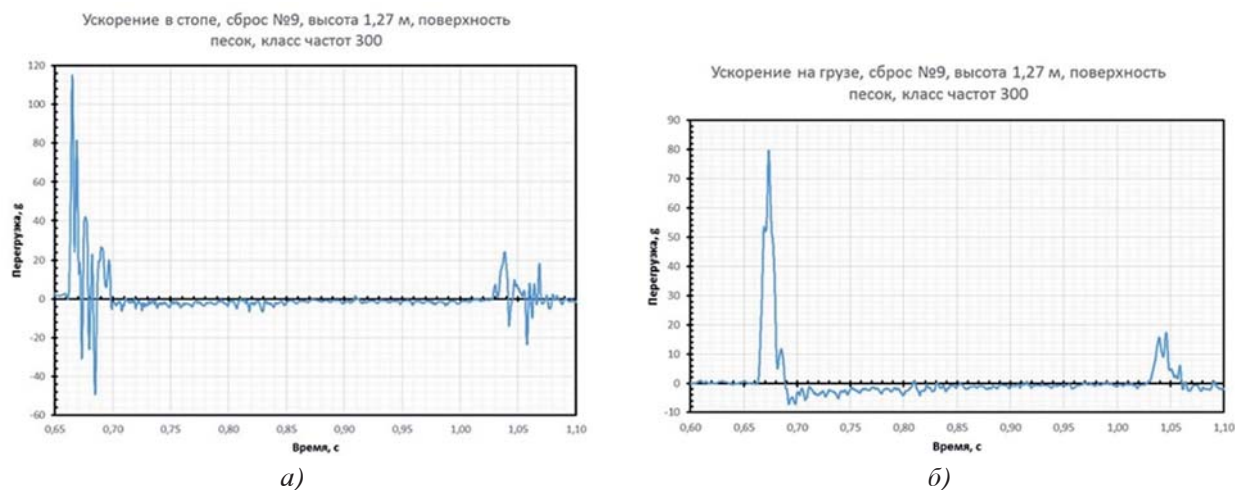


Рис. 8. Перегрузка на стопе (а) и на весовом цилиндре (б) при сбросе № 9, высота сброса 1,27 м на песок, класс частоты фильтра 300



Рис. 9. Установка антропоморфных макетов ног в специальный защищенный автомобиль

Литература

1. В основном гибнут на минах // Газета «Военно-промышленный курьер». Режим доступа: <http://vpk-news.ru/articles/18263>.
2. More Attacks, Mounting Casualties // Washington post. Режим доступа: <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/graphic/2007/09/28/GR2007092802161>.
3. Owens B.D., Kragh J.F., Macaitis J., Svoboda S.J. Wenke J.C. Characterization of extremity wounds in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom // Journal of Orthopaedic Trauma. 2007. № 21. P. 254–257.
4. Система парашютная спортивная «Мальва-24СК». Техническое описание и инструкция по эксплуатации (111-2005-ЗТО) // АО «ПОЛЕТ» Ивановский парашютный завод. Режим доступа: <http://www.ivparachute.ru/upload/iblock/043/043aa17e8eef90c798cec70c9b1c4983.pdf>.
5. Кулаков Н.А., Гаврилов Е.В. Разработка метода оценки травмобезопасности ног экипажа автобронетанковой техники при подрыве на минах с использованием специального макета // Материалы 89-ой конференции ААИ «Новые вызовы». М.: Ассоциация автомобильных инженеров, Университет машиностроения, 2015. С. 15–18.
6. Кулаков Н.А., Гаврилов Е.В., Паниченко И.В. Разработка специального приспособления для оценки перегрузок ног экипажа автобронетанковой техники при подрыве на минах // Вооружение, военная техника и боеприпасы. Сборник научных статей. Нижний Тагил, 2015. Т. 2. С. 96–99.

References

1. V osnovnom gibnut na minakh. Gazeta «Voennopromyshlennyy kur'er». URL: <http://vpk-news.ru/articles/18263>.
2. More Attacks, Mounting Casualties. Washington post. URL: <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/graphic/2007/09/28/GR2007092802161>.
3. Owens B.D., Kragh J.F., Macaitis J., Svoboda S.J. Wenke J.C. Characterization of extremity wounds in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom. Journal of Orthopaedic Trauma. 2007. No 21, pp. 254–257.
4. Sistema parashyutnaya sportivnaya «Mal'va-24SK». Tekhnicheskoe opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsii (111-2005-3TO). AO «POLET» Ivanovskiy parashyutnyy zavod. URL: <http://www.ivparachute.ru/upload/iblock/043/043aa17e8eef90c798cec70c9b1c4983.pdf>.
5. Kulakov N.A., Gavrilov E.V. Razrabotka metoda otsenki travmobeзопасnosti nog ekipazha avtobronetankovoy tekhniki pri podryve na minakh s ispol'zovaniem spetsial'nogo maketa. Materialy 89-oy konferentsii AAI «Novye vyzovy». Moscow: Assotsiatsiya avtomobil'nykh inzhenerov, Universitet mashinostroeniya, 2015, pp. 15–18.
6. Kulakov N.A., Gavrilov E.V., Panichenko I.V. Razrabotka spetsial'nogo prispособleniya dlya otsenki peregruzok nog ekipazha avtobronetankovoy tekhniki pri podryve na minakh. Vooruzhenie, voennaya tekhnika i boepriпасы. Sbornik nauchnykh statey. Nizhniy Tagil, 2015. Vol. 2. pp. 96–99.

ANTHROPOMORPHIC FOOT MOCK-UP, TO ASSESS THE TRAUMA SAFETY OF THE CREW OF AUTO ARMORED VEHICLES WITH MINE EXPLOSION

E.V. Gavrilov

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, andhover@mail.ru

The article presents the results of development and testing of an anthropomorphic foot mock-up, which allows to determine the leg safety in case of mine explosion. As the statistics show, the legs of the crew of auto armored vehicles, as well as the driver and passengers of special protected civilian vehicles, are subject to a strong dynamic impact with a mine explosion, resulting in an increased level of injuries to this part of the body. When developing a protected technique, special attention is paid to leg injuries. Since the anthropomorphic measuring dummies used in the tests for mine explosion are limited, and it is necessary to determine the trauma safety of a large number of people, it was decided to develop an anthropomorphic foot mock-up. The anthropomorphic mock-up of the leg consists of the M2A-02 carrier module with the M3A-01 bushing adapter, the 723/8 foot, the calf shank spring, and the weight cylinder that replaces the missing shank mass and half the hip mass. To determine the axial force in the shin, a special motion sensor is used. According to the measured compression and the existing spring stiffness, a peak axial force is calculated. The anthropomorphic mock-up of the leg was calibrated on a special coprode stand for discharge. The discharge from various heights from 0.46 m to 2.5 m was made on different surfaces - sand and steel with a thickness of 8 mm. Also, a leg was dropped, shod in a statutory boot. After the calibration, the device was used in full-scale tests by undermining a special civil protected vehicle to determine the trauma safety of the driver's and passengers' legs. According to the results of the work, it was concluded that the foot mock-up can be used for testing special civil protected vehicles, as well as for armored vehicles with mine explosion.

Keywords: trauma safety, anthropomorphic foot mock-up, auto armored vehicles, special civilian protected vehicles.