

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 62—781

Оценка влияния размещения нижних конечностей экипажа броневедомобиля на травмобезопасность при подрыве

Д.М. Рябов, А.А. Смирнов, Д.О. Бутарович

В последнее время при проектировании военной бронированной колесной техники большое внимание уделяется вопросу живучести экипажа при подрыве на мине. На сегодняшний день существует ряд мер, направленных на решение этой задачи. Одной из них является применение подставок для защиты ног экипажа от ударного воздействия при подрыве. В статье дана оценка эффективности использования данной меры при помощи конечно-элементного анализа.

Ключевые слова: броневедомобиль, экипаж, нижние конечности, подставка для ног, противоминная защита, LS-DYNA.

Recently, when designing military armored wheeled vehicles a lot of attention is paid to the crew survivability during a mine explosion. Today there are many ways aimed at solving this problem. One of them is to use a footboard to protect lower extremities of the crew from an impact during a mine explosion. The article assesses the effectiveness of this measure by the finite-element analysis.

Keywords: armoured vehicle, crew, lower extremities, footboard, mine protection, LS-DYNA.

В последние несколько лет при разработке броневедомобилей для нужд Вооруженных сил и МВД России большое внимание уделяется задаче обеспечения их стойкости к действию мин и самодельных взрывных устройств. Для решения указанной задачи можно выполнять следующие конструктивные мероприятия: увеличение



РЯБОВ
Денис Михайлович
аспирант



СМИРНОВ
Александр Анатольевич
кандидат технических наук, доцент



БУТАРОВИЧ
Дмитрий Олегович
кандидат технических наук
кафедры «Колесные машины»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

клиренса броневедомобиля, использование V-образного днища, применение защитных экранов, использование пористых энергопоглощающих материалов, закрепление сидений к крыше или бортам броневедомобиля, а также использование сидений энергопоглощающей конструкции. Данные конструктивные решения позволяют значительно снизить вероятность повреждения головы и позвоночника членов экипажа при подрыве. При этом остается высокой вероятность повреждения стопы или голени человека, когда стопа находится в контакте с полом броневедомобиля.

Причиной получения подобных повреждений являются большие сжимающие силы, возникающие в костях ног вследствие высокоскоростного удара пола броневедомобиля по ступням. Возникающие сложные переломы могут привести к серьезным сосудистым нарушениям, которые представляют реальную угрозу для жизни человека, особенно в условиях военных действий при несвоевременном оказании первой медицинской помощи. Поэтому большое значение приобретают меры, направленные на снижение вероятности повреждения нижних конечностей человека при подрыве броневедомобиля.

В современных броневедомобилях самой распространенной конструктивной мерой по снижению ударных нагрузок на ноги является фальшпол. Однако последние тенденции указывают на активное применение другого конструктивного решения — подставок для ног. Такие подставки, как правило, представляют собой раскладной трубчатый каркас, который жестко крепится к сиденью. В данной работе проведена оценка эффективности применения подставок для ног с целью снижения ударных нагрузок на ноги членов экипажа.

Критерии оценки

В настоящее время наиболее полно разработаны критерии для оценки повреждений, получаемых водителем и пассажирами, при столкновении автомобиля. Эти критерии относятся к повреждениям головы, шеи, грудной клетки, позвоночника, бедра, голени и ступни. Они входят в регламенты по безопасности многих

стран и используются во всем мире, включая Россию. Однако применение этих критериев для оценки травм, получаемых экипажем броневедомобиля при подрыве, является необоснованным, так как процессы столкновения и подрыва автомобиля сильно отличаются, в первую очередь, скоростью нарастания перегрузок.

В 2007 г. на территории стран НАТО вступил в силу нормативный документ RTO-TR-HFM-090 «Test methodology for protection of vehicle occupants against anti-vehicular landmine effects» [1] («Методика испытаний на защищенность членов экипажа транспортных средств от минного подрыва»), являющийся приложением к военному стандарту STANAG 4569, в котором, среди прочего, заданы уровни противоминной защиты броневедомобилей. Документ содержит информацию не только о критериях повреждений членов экипажа при подрыве на mine, но и методы их расчета по результатам экспериментов.

Критерий повреждений нижних конечностей, предлагаемый в документе RTO-TR-HFM-090, базируется на данных, полученных в ходе экспериментов в 1996 г. в медицинском колледже штата Висконсин. Целью исследования было получение зависимости, связывающей такие параметры как: возраст человека, сжимающая сила в голени и вероятность перелома. Объектом исследования служили человеческие голени. Всего в ходе опытов было испытано 26 образцов. Сжимающая сила в голени, создаваемая при помощи ударов маятника массой 16 кг по ступне, замерялась датчиком, установленным в месте закрепления (рис. 1).

Результаты испытаний были объединены с данными аналогичных экспериментов, проведенных в США. На рисунке 2 показана зависимость вероятности получения повреждения

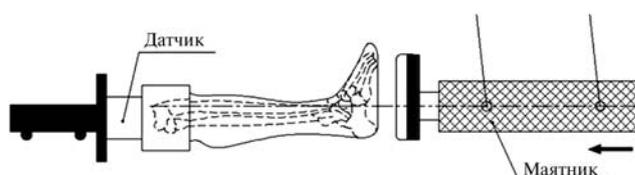


Рис. 1. Схема стенда испытаний [1]

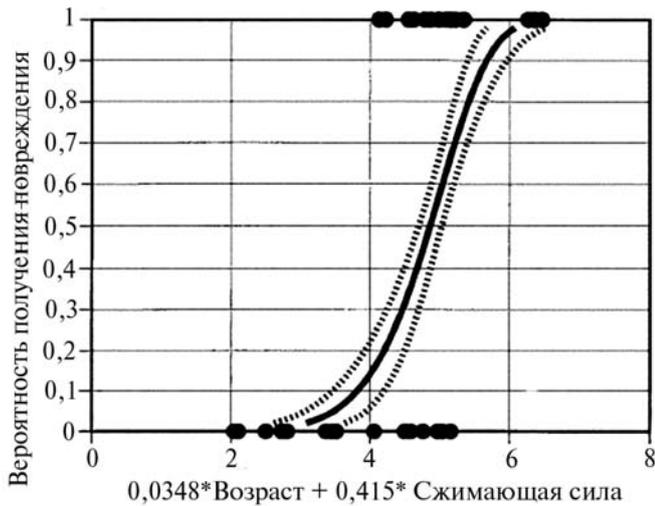


Рис. 2. Кривая вероятности повреждения голени [1]

голени от возраста и сжимающей силы, основанная на проведенных испытаниях.

Для описания данного распределения используется закон Вейбулла:

$$p = 1 - \exp\left[-\left(\frac{0,0348a + 0,415f}{5,13076}\right)^{7,42582}\right],$$

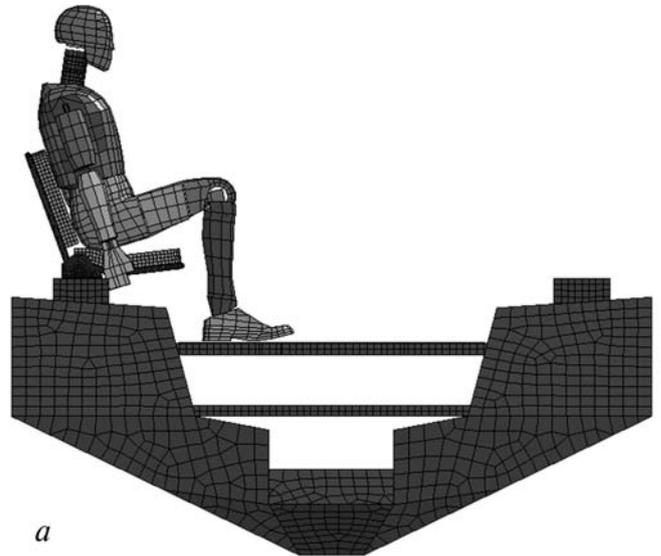
где p — вероятность получения повреждения голени; a — возраст, лет; f — максимальная осевая сжимающая сила, кН.

В результате исследований принято, что предельно допустимое значение силы должно составлять 5,4 кН, что соответствует вероятности перелома голени около 10%.

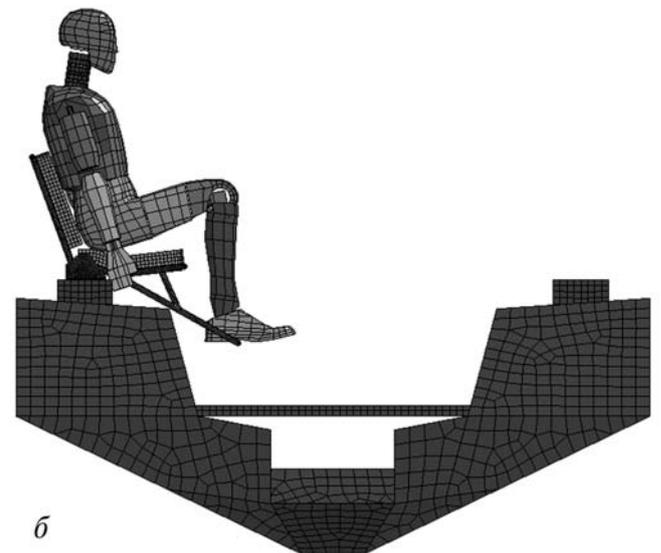
Методика расчета

Авторами данной статьи проведена сравнительная оценка травмобезопасности двух вариантов расположения нижних конечностей экипажа: первый — член экипажа сидит на сидении и стопы ног полностью опираются на пол (рис. 3, а), второй — член экипажа сидит на сидении и стопы ног опираются на подставку (рис. 3, б). Отметим, что в обоих расчетных случаях ступни манекена находятся на одном уровне от дна броневедомобиля.

Расчет проводился на конечно-элементных моделях в программном комплексе LS-DYNA.



а



б

Рис. 3. Варианты расположения ног члена экипажа в броневедомобиле:

а — ноги на полу; б — ноги на подставке

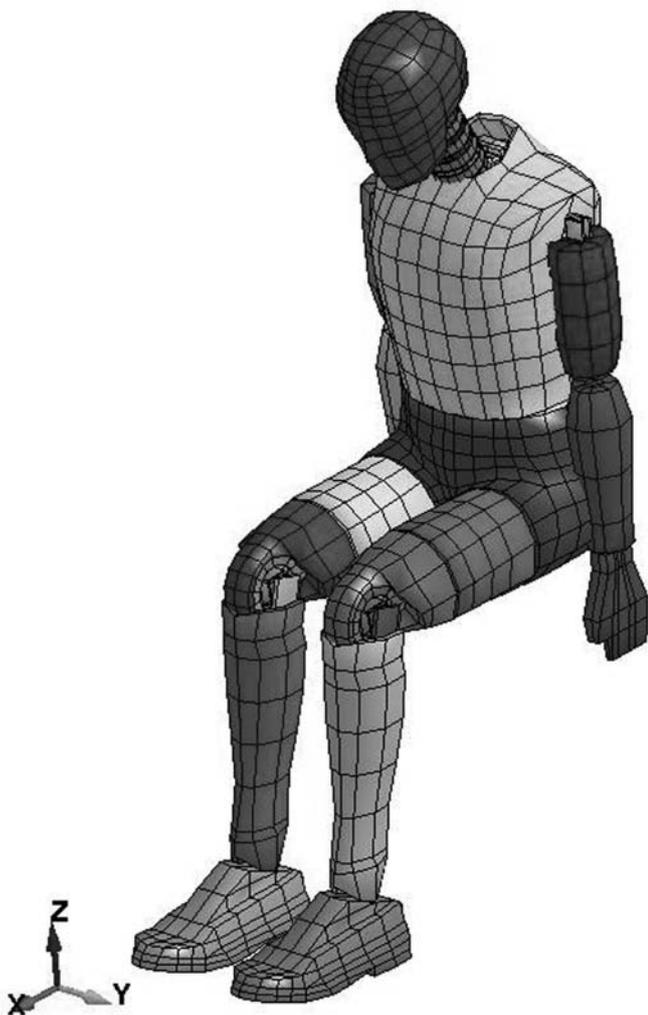


Рис. 4. Модель манекена Hybrid III

Для моделирования взрывного воздействия на корпус броневедомобиля использовали встроенную в LS-DYNA функцию CONWER. Алгоритм работы данной функции описан в работах [2, 3].

Конечно-элементные модели были созданы на основе полноразмерной твердотельной модели специального автомобиля СПМ-3 [4].

В проведенных расчетах заряд располагался в продольной плоскости бронекорпуса под днищем, на расстоянии 0,5 м от него; масса заряда составляла 6 кг в тротиловом эквиваленте.

Для оценки степени передачи ударного импульса от пола или подставки к ступням сидящего члена экипажа при моделировании использовалась модель манекена Hybrid III (рис. 4). Модель манекена Hybrid III имеет структуру,

приближенную к анатомическому строению человека. Модель манекена состоит из частей, имитирующих скелет человека, связи между которыми реализованы при помощи шарниров с соответствующими степенями свободы, и частей, имитирующих мягкие ткани. Масса модели манекена составляет 79 кг.

Следует отметить, что для расчета контакта частей манекена с подушкой сиденья проводилась, так называемая, гравитационная посадка манекена. При этом манекен, изначально расположенный в непосредственной близости над подушкой сиденья, в течении первых 100 мс расчета опускался на нее под действием силы тяжести, формируя контактную поверхность.

Для моделирования контакта манекена Hybrid III с сиденьем использовалась опция *CONTACT_AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE, для моделирования контакта ступней с полом или подставкой — опция *CONTACT_SURFACE_TO_SURFACE [5].

Контрольными точками измерения возникающих сил и моментов являются соответствующие суставы или, применительно к испытательным антропометрическим манекенам, шарниры 24 и 25 (рис. 5).

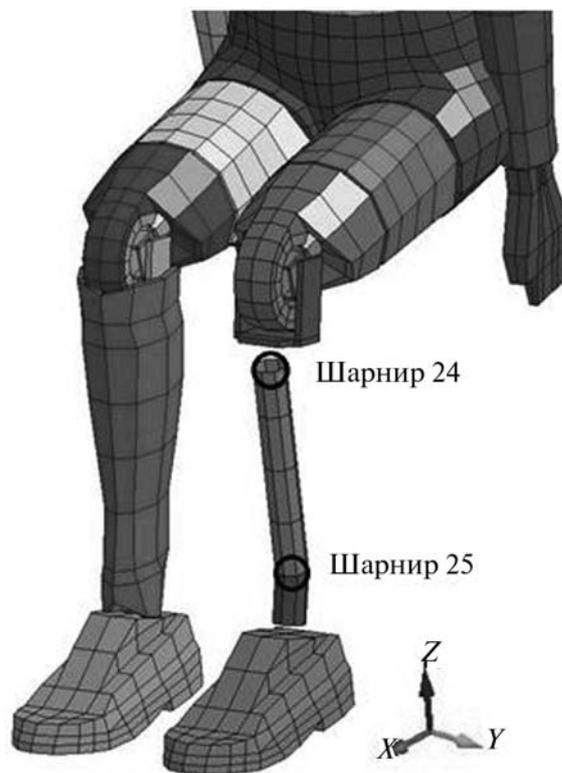


Рис. 5. Расположение шарниров в манекене Hybrid III

Для проведения сравнительной оценки вариантов посадки в качестве критерия была выбрана максимальная сила по оси Z, определяемая как среднее значение между силами, возникающими в шарнирах 24 и 25.

Зависимости сжимающей силы в голени манекена Hybrid III, полученные в результате расчета различных вариантов, представлены на рис. 6.

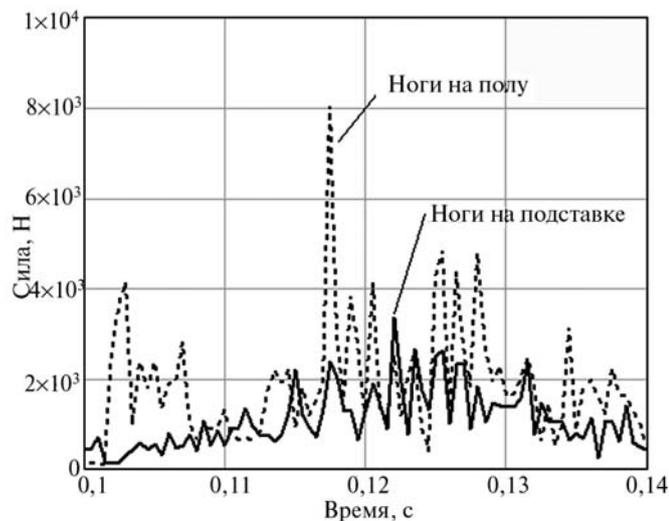


Рис. 6. Зависимость сжимающей силы в голени манекена от времени

Выводы

Анализируя представленные графики, можно отметить, что пиковое значение силы в случае расположения ступней ног на полу превышает аналогичное значение для случая расположения ног на подставке в 2,4 раза. При этом в первом случае максимальная сжимающая сила превосходит в 1,5 раза предельно допустимое значение 5,4 кН, что свидетельствует о вы-

сокой вероятности получения повреждений голени.

Во втором случае применение подставки для ног позволяет снизить сжимающую силу до значения 3,36 кН, что заметно снижает риск получения повреждений голени.

Проведенные расчеты показывают, что применение подставок для ног является эффективным способом снижения ударной нагрузки на ноги членов экипажа, т. е. повышения травмобезопасности при подрыве броневедомобиля. В случае расположения ног на подставке вероятность перелома голени составила менее 1%, аналогичное значение для случая расположения ног на полу — около 20%.

Литература

1. RTO-TR-HFM-090 Technical Report. Test methodology for protection of vehicle occupants against anti-vehicular landmine effects. April 2007.
2. Randers-Pehrson G., Bannister K.A. Airblast Loading Model for DYNA2D and DYNA3D. ARL-TR-1310, U. S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD. March 1997.
3. Kingery C.N., Bulmash G. Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst. April. 1984.
4. Котиев Г.О., Смирнов А.А., Федотов М.В., Бутарович Д.О., Карташов А.Б. Разработка бронетранспортера для внутренних войск // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Вып. 5–6. 2009.
5. LS-DYNA User's Manual, Version 971. May 2007. Livermore Software Technology Corporation (LSTC).

Статья поступила в редакцию 23.01.2012