

УДК 62-781

## Оценка влияния способов закрепления сидений на живучесть экипажа при подрыве броневедомобиля

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

*Основной задачей при создании броневедомобиля класса MRAP является повышение минной стойкости в целях обеспечения живучести экипажа. Для этого используют различные конструктивные решения корпуса броневедомобиля и специальные сидения. Приведена сравнительная оценка влияния способов закрепления сидений в корпусе броневедомобиля на безопасность экипажа при минном подрыве.*

**Ключевые слова:** броневедомобиль, экипаж, сиденье, противоминная защита, LS-DYNA, MRAP.

*The main task when designing a MRAP class armoured car is to increase a mine resistance in order to ensure the survivability of a crew. The task could be achieved by different design solutions of the armoured car body and the use of special seats. The article presents a comparative assessment of the influence of seats securing means in an armoured car on the survivability of a crew in case of a mine blowing up.*

**Keywords:** armoured vehicle, crew, seat, mine protection, LS-DYNA, MRAP.

При разработке специальных транспортных средств для перевозки личного состава на территориях проведения контртеррористических операций особую важность, наряду с противопульной защитой, приобретают вопросы обеспечения защищенности экипажа и десанта от действия мин и самодельных взрывных устройств.

К наиболее часто применяемым конструктивным решениям, позволяющим снизить ударные нагрузки на экипаж и десант при подрыве, и V-образная форма днища транспортного средства, разнесенная конструкция пола, относятся специальная конструкция сидений. Важным фактором является и способ установки сидений.

За рубежом в последнее десятилетие появился новый класс бронированной техники — MRAP (Mine resistant, ambush protected — защищенный от мин и нападения из засады). В России первым броневедомобилем, который можно отнести к классу MRAP, стал броневедомобиль СПМ-3 «Медведь» [1], разработанный совместно специалистами кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана и ООО «ВИЦ», входящего в ООО «Военно-промышленная ком-



**РЯБОВ**  
Денис Михайлович  
инженер НИИ СМ  
аспирант  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)



**СМИРНОВ**  
Александр Анатольевич  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Колесные машины»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)



**БУТАРОВИЧ**  
Дмитрий Олегович  
инженер НИИ  
специального  
машиностроения  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

пания». Особенностью данного спецавтомобиля является применение V-образного днища.

При размещении десанта в десантном отделении броневедомобиля СПМ-3 возможно использование различных способов крепления сидений: к фальшполу, к борту и к крыше бронекорпуса. С точки зрения конструктивного исполнения все эти способы примерно равнозначны, но с точки зрения безопасности десанта при подрыве они могут значительно различаться. В данной работе выполнена сравнительная оценка влияния способов крепления сидений для десанта в корпусе броневедомобиля на живучесть личного состава.

## Методика расчета

Сравнительная оценка проводилась для двух способов закрепления сидений в корпусе броневедомобиля. Первый способ предполагает крепление сиденья к борту корпуса, второй — к крыше корпуса (рис. 1). Была также проведена оценка влияния поясных ремней безопасности на безопасность десантника в обоих расчетных случаях.

Расчет осуществлялся на конечно-элементных моделях в программном комплексе LS-DYNA. Для моделирования взрывного воз-

действия на корпус броневедомобиля использовалась встроенная в LS-DYNA функция CONWEP. Она автоматически прикладывает давление, действующее на конечный элемент, которое рассчитывается по эмпирическим формулам в зависимости от массы заряда (в тротиловом эквиваленте), расстояния до него, а также от ориентации элемента в пространстве. Согласно заключению разработчиков функции CONWEP [2], проведенное сравнение результатов вычислительного эксперимента с экспериментальными данными показало адекватность применения этой функции при решении такой задачи, как моделирование воздействия ударной волны от наземных мин на транспортные средства. Ограничения в применении данной функции состоят в том, что она не учитывает эффекты «затенения» ударной волны объектами, лежащими на пути ее распространения, и локальные эффекты ее отражения от элементов конструкции. В проведенных расчетах заряд располагался в продольной плоскости бронекорпуса, под днищем, на расстоянии 0,4 м от него; масса заряда составляла 6 кг в тротиловом эквиваленте.

Кроме взрывного воздействия, для всех узлов модели задано действие ускорения свободного падения, направленного вниз.

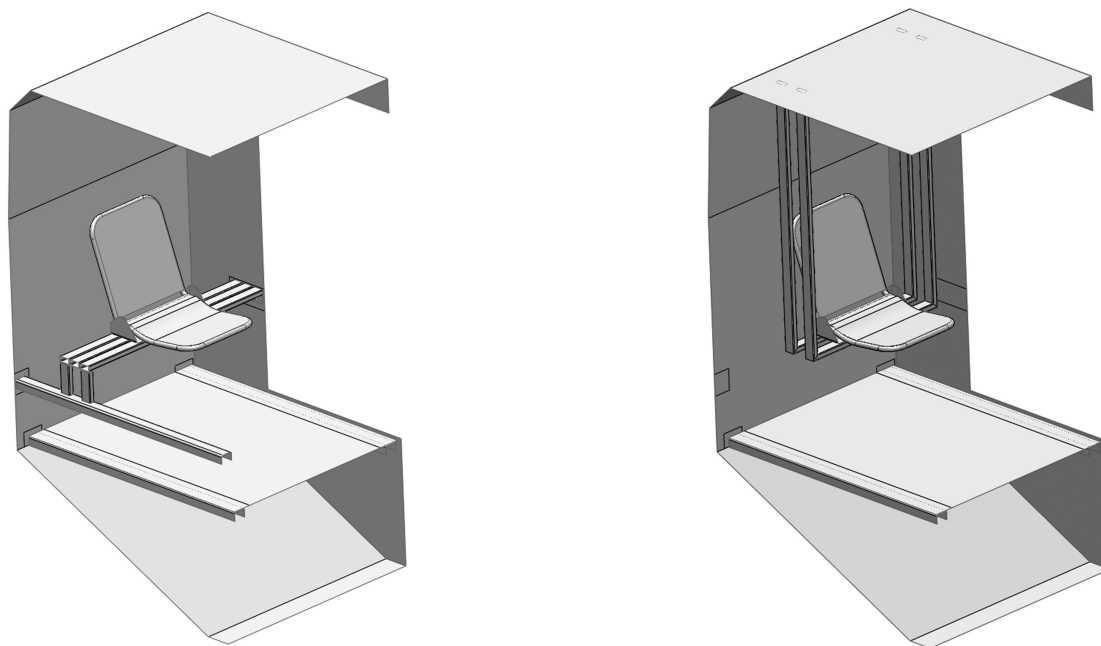


Рис. 1. Геометрическая поверхностная модель:  
а — с креплением сиденья к борту корпуса; б — с креплением сиденья к крыше корпуса

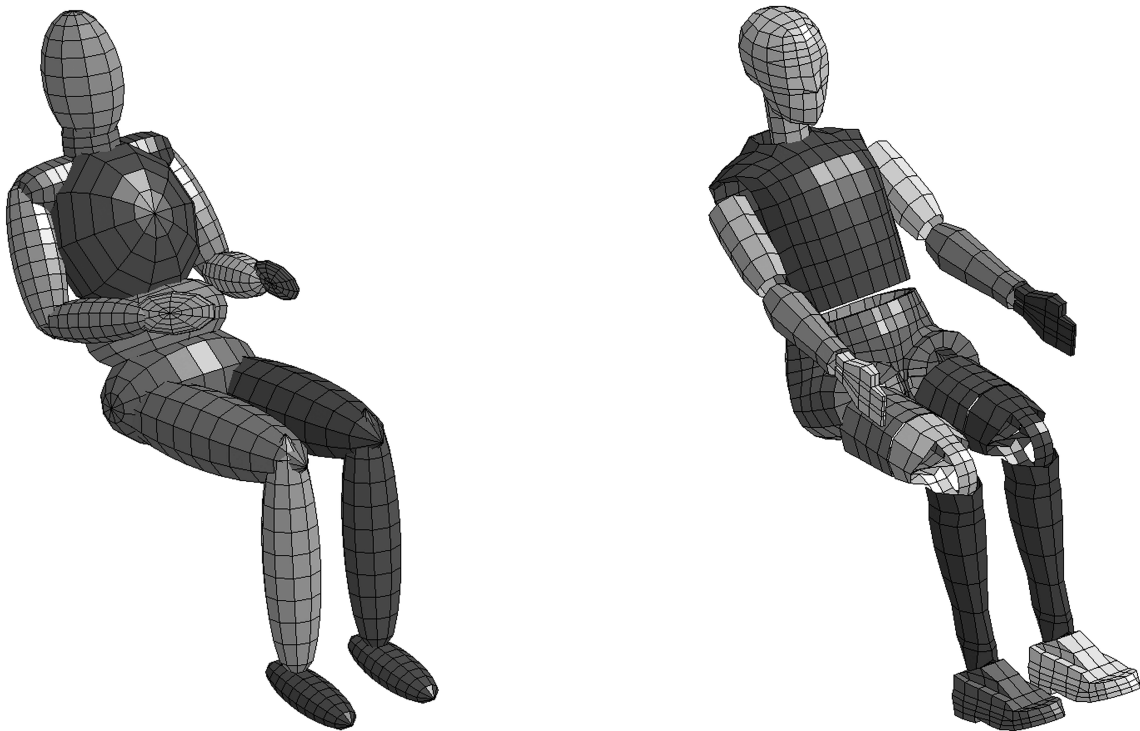


Рис. 2. Модели манекенов, встроенные в программный комплекс LS-DYNA:  
*a* — Gebod; *б* — Hybrid III

Для оценки степени передачи ударного импульса от сиденья к сидящему на нем десаннику при моделировании использовалась модель манекена Hybrid III, встроенная в пакет LS-DYNA [3]. Это одна из двух встроенных в данный пакет моделей манекенов. Как и модель манекена Gebod (рис. 2, *a*), модель Hybrid III (рис. 2, *б*) состоит из твердых тел, имитирующих части тела человека и связанных между собой шарнирами с соответствующими степенями свободы. В отличие от модели Gebod, модель Hybrid III имеет более реалистичную геометрию частей тела человека и деформируемые вставки, имитирующие мягкие ткани человека.

Конечно-элементная модель манекена Hybrid III первоначально была разработана и верифицирована для использования в автомобильной промышленности для оценки пассивной безопасности водителя и пассажиров. Однако в последнее время за рубежом она успешно применяется и для оценки повреждений, получаемых экипажем транспортного средства при его подрыве. В работе [4] проведено сравнение с экспериментом результатов моделирования взрывного воздействия с приме-

нением модели Hybrid III, которое показало адекватность данной модели при нагрузках, характерных для случая подрыва транспортного средства.

Конечно-элементные модели (рис. 3), использованные при расчетах двух способов крепления сидений — к борту и к крыше — состояли из 18 тыс. и 26 тыс. оболочечных элементов соответственно (без учета элементов модели Hybrid III). Масса моделируемой конструкции в обоих случаях составляла 1 135 кг.

Конечно-элементная модель сиденья состоит только из металлических элементов и не включает мягкие элементы подушки и спинки, поскольку в сиденьях данного типа они обычно отсутствуют или незначительны по толщине.

Для моделирования поясного ремня безопасности предназначены специально разработанные для этих целей двухузловые конечные элементы \*ELEMENT\_SEATBELT (рис. 4). Конечные узлы ремня имеют связанные степени свободы с узлами на кронштейнах сиденья. Ремень не имеет преднапряжения и расположен таким образом, что между ним и телом человека имеется зазор величиной около 10 мм. Такое

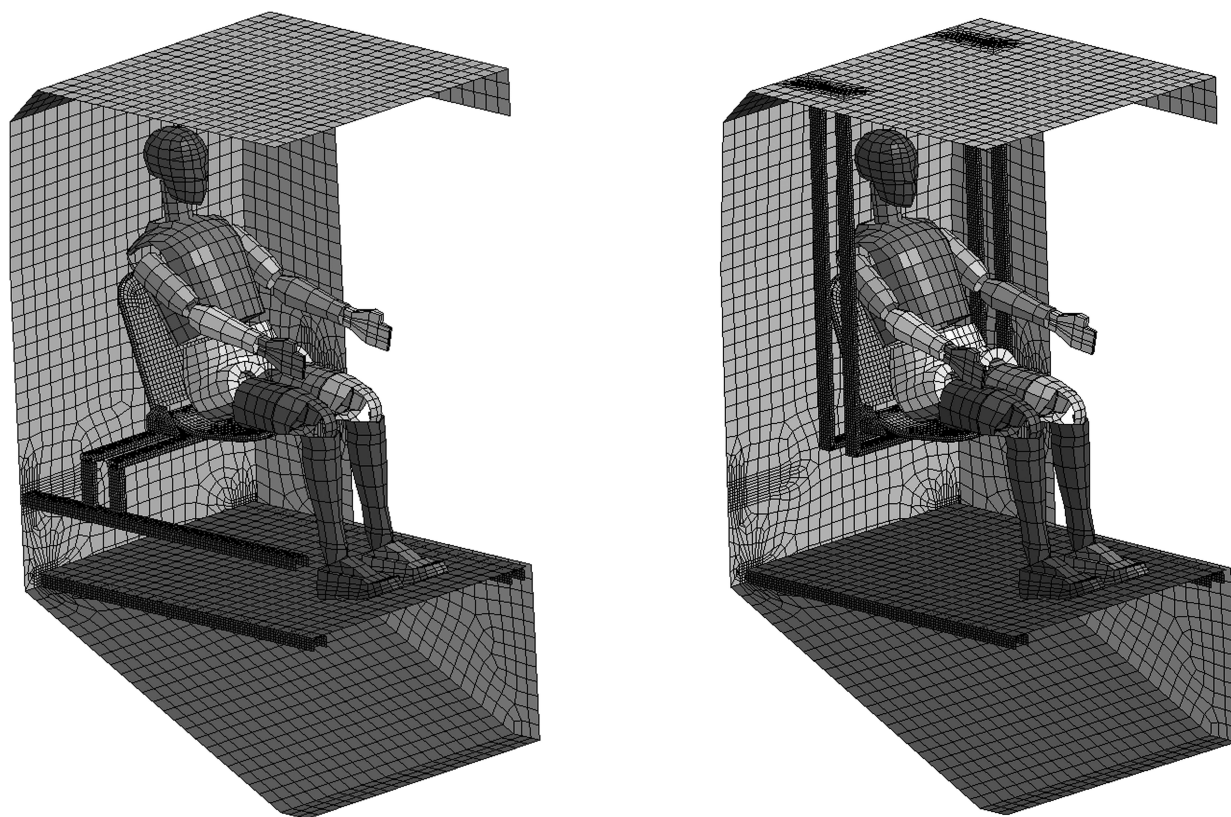


Рис. 3. Расчетная модель: а — с закреплением сиденья к борту корпуса; б — с креплением сиденья к крыше корпуса

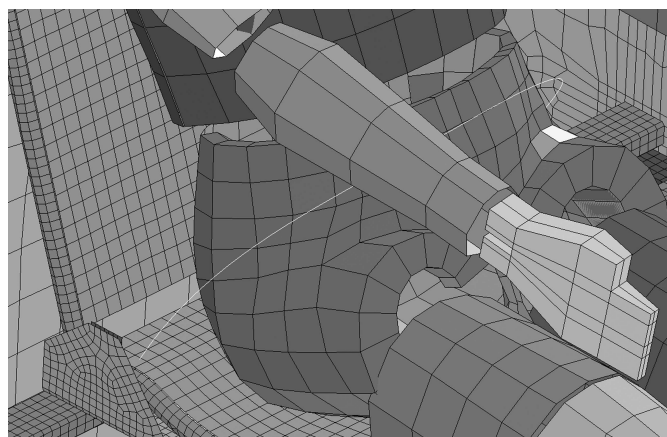


Рис. 4. Фрагмент расчетной модели с ремнем безопасности

расположение соответствует ситуации, часто встречающейся в действительности, а также учитывает толщину одежды на человеке.

Примененные модели материалов для различных частей бронекорпуса и сиденья указаны в табл. 1.

Для моделирования контакта частей манекена Hybrid III с сиденьем и с корпусом броне-

а автомобиля используется опция \*CONTACT\_AUTOMATIC\_SINGLE\_SURFACE, для моделирования контакта ремня с нижней частью торса манекена — опция \*CONTACT\_AUTOMATIC\_NODES\_TO\_SURFACE.

Таблица 1

Модели материалов

Геометрическая часть модели	Модель материала
Элементы бронекорпуса (сталь)	*MAT_PLASTIC_KINEMATIC
Элементы опоры сиденья и пол (сталь)	*MAT_ELASTIC
Элементы сиденья (сталь)	*MAT_ELASTIC
Элементы сосредоточенной массы	*ELEMENT_MASS
Ремень	*ELEMENT_SEATBELT

## Результаты расчета

Анализ быстропротекающих процессов в программном пакете LS-DYNA проводился явными методами интегрирования, что наклад-

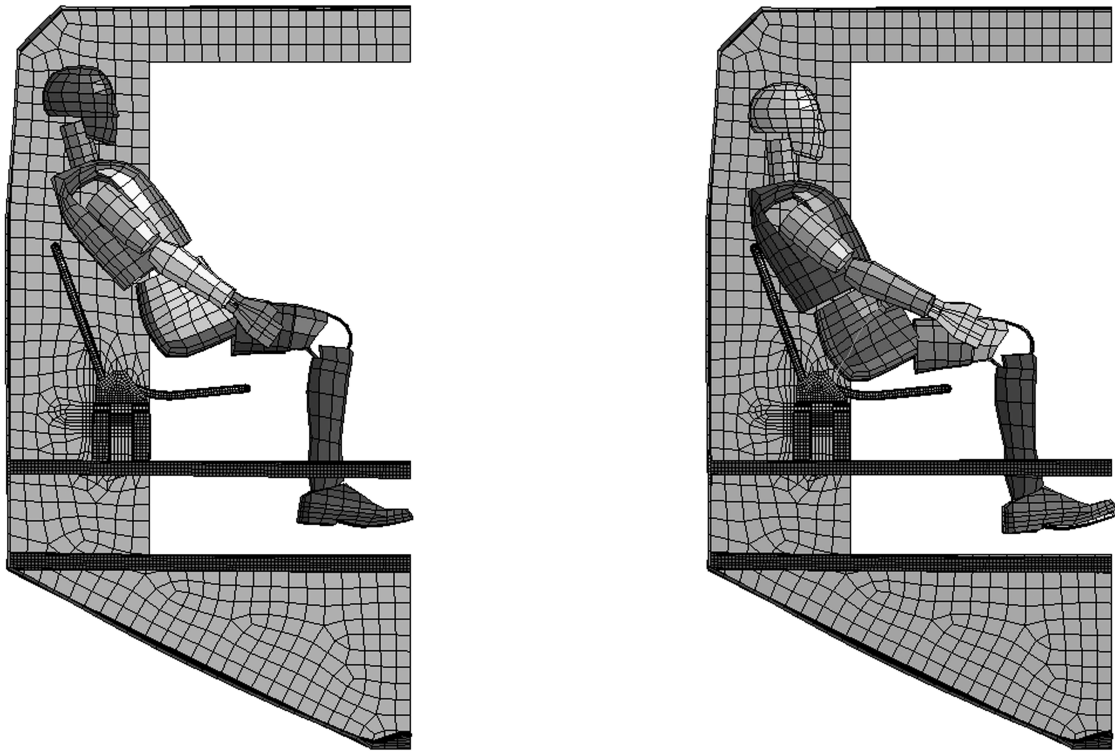


Рис. 5. Положение манекена в момент времени 0,1 с:  
*а* — без ремня безопасности; *б* — с ремнем безопасности

дывает ограничение на величину шага интегрирования и приводит к значительному росту времени расчета. В результате расчетов было получено положение частей расчетной модели в пространстве в различные моменты времени (рис. 5), а также графики зависимости различных физических величин от времени.

Основным критерием для оценки опасности получаемых человеком травм при подрыве броневедомобиля было выбрано ускорение, действующее на голову манекена. Такой выбор обусловлен тем, что именно чрезмерные ускорения, действующие на головной мозг человека, приводят к тяжелым последствиям, вплоть до летального исхода. На основе функции ускорения головы человека в зависимости от времени построен широко используемый в настоящее время в автомобильной промышленности критерий НИС (Head Injury Criteria — критерий тяжести повреждений головы). По этому критерию оценивается пассивная безопасность автомобиля при столкновениях.

Графики ускорения головы манекена Hybrid III, полученные в результате расчета различных вариантов, представлены на рис. 6 и рис. 7.

Высокие значения ускорения (около 20 g) в интервале времени 0,01...0,03 с на всех графиках обусловлены ударом сиденья по манекену в момент подрыва.

На графиках, соответствующих расчетам с ремнем безопасности (см. рис. 6, *б* и 7, *б*), можно выделить зону высоких ускорений в интервале времени 0,07...0,085 с. К этому моменту времени манекен, подлетевший над сиденьем, натягивает ремень, который начинает препятствовать его свободному перемещению. Следует отметить, что перегрузки, обусловленные «рывком» ремня, составляют около (60...95) g и превышают перегрузки, действующие непосредственно в момент подрыва.

Пики ускорений в диапазоне 0,1...0,14 с (без ремня) и 0,105...0,145 с (с ремнем) можно объяснить тем, что в эти моменты времени в некоторых из шарниров манекена (верхний и нижний шейные шарниры, поясничный шарнир) достигаются предельные значения углов складывания. Это вызывает резкое изменение скорости их относительного движения и, следовательно, большие значения ускорения.

## Выводы

Сравнивая способы крепления сиденья к крыше и к борту корпуса броневедомобиля, можно отметить, что различия в пиковых значениях ускорений незначительны. Следовательно, можно сделать вывод, что в рассмотренных способах закрепления сидений нет принципиальных различий относительно ускорений, действующих на манекен.

Применение поясного ремня безопасности без предварительного натяжения, расположенного с зазором относительно тела манекена, приводит к увеличению перегрузок, но может предотвратить удар манекена головой об элементы бронекорпуса. Снижение перегрузок, вызванных ремнем безопасности, вероят-

но, можно получить применением ремней с преднатяжением и изменением схемы их крепления.

Вычисленные значения по критерию НИС для всех вариантов расчета не превысили 23. Сравнивая это значение с предельным значением 1 000 критерия НИС, при котором вероятность тяжелого повреждения головы человека составляет 18%, можно отметить, что предложенная конструкция корпуса броневедомобиля и крепления сиденья практически безопасна для экипажа при минном подрыве с точки зрения получения травм головы. Следовательно, в дальнейших исследованиях необходимо дополнительно рассмотреть и другие виды травм (ног, позвоночника, шеи), получаемых экипажем при взрывном воздействии, и критерии их оценки.

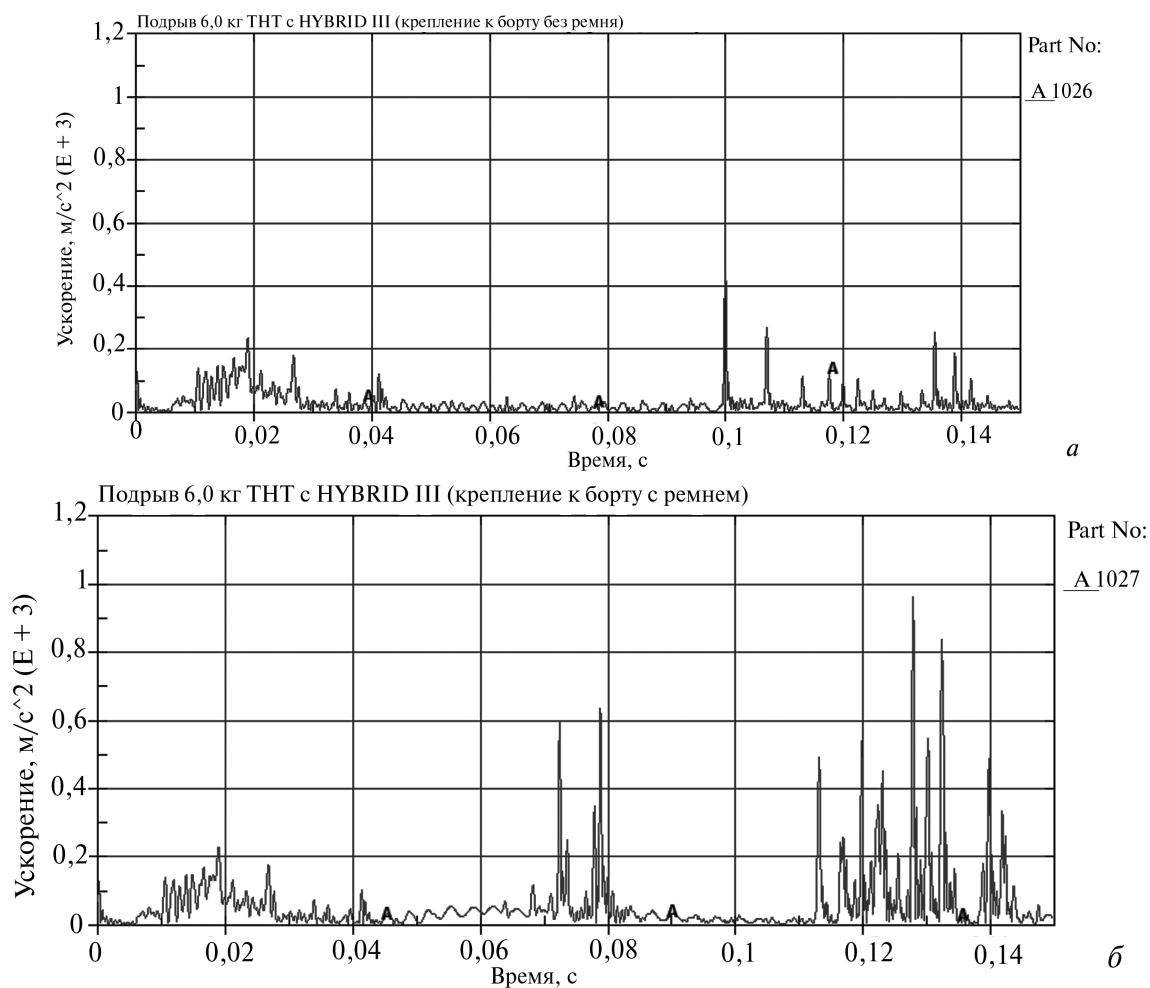


Рис. 6. Ускорение головы манекена Hybrid III при подрыве 6,0 кг ТНТ при креплении сиденья к борту: *a* — без ремня безопасности; *б* — с ремнем безопасности

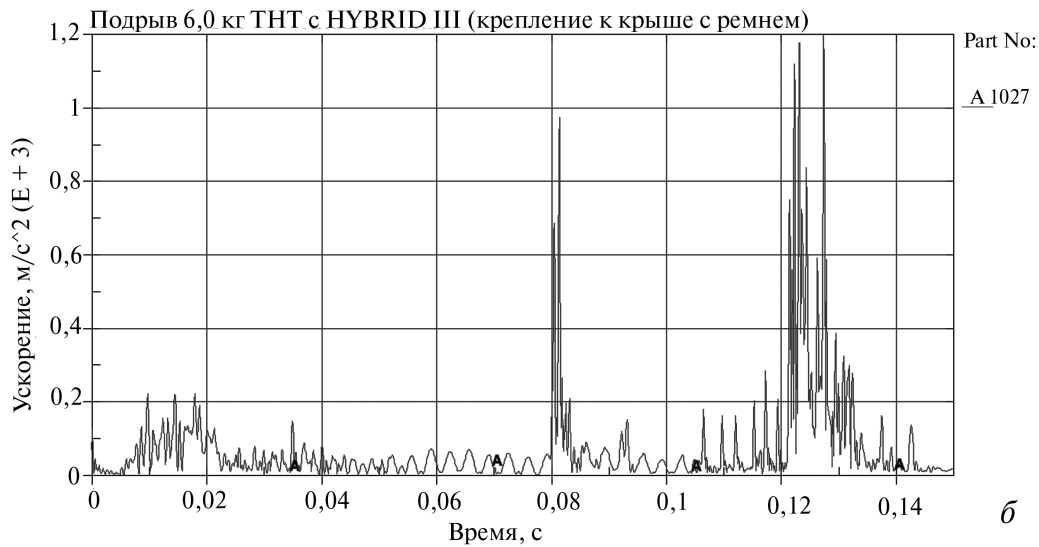
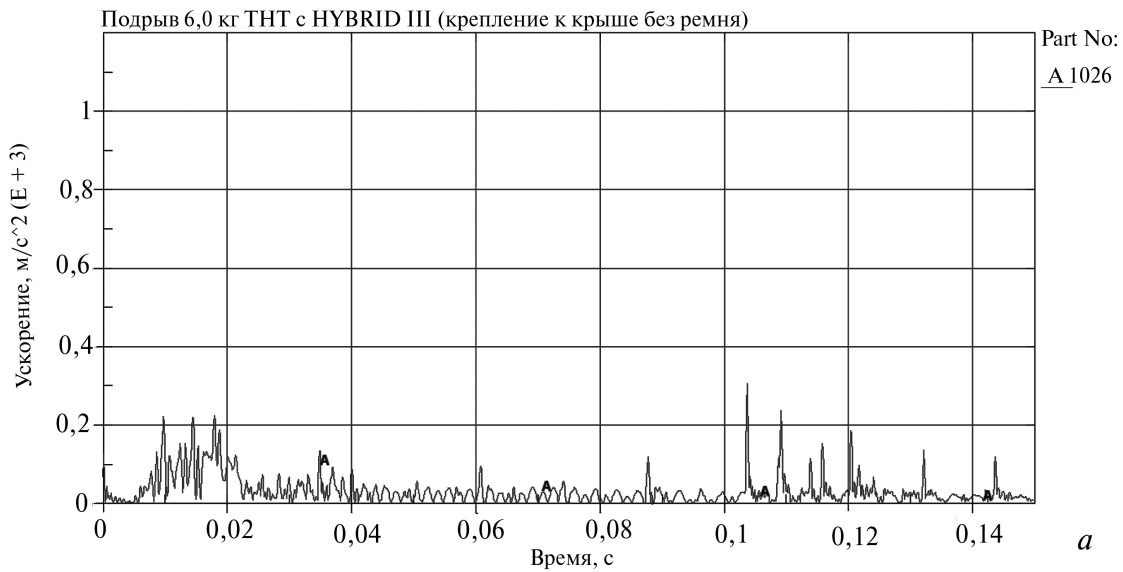


Рис. 7. Ускорение головы манекена Hybrid III при подрыве 6,0 кг ТНТ при креплении сиденья к крыше:  
*a* — без ремня безопасности; *б* — с ремнем безопасности

#### Литература

1. Котиев Г.О., Смирнов А.А., Федотов М.В., Бутарович Д.О. Карташов А.Б. Разработка бронетранспортера для внутренних войск // Вопросы оборонной техники. 2009. Сер. 16. Вып. 5–6. 2009.
2. G. Randers-Pehrson, K.A. Bannister. Airblast Loading Model for DYNA2D and DYNA3D. ARL-TR-1310, U. S. Army

Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD, March 1997.

3. LS-DYNA User's Manual. Version 971. May 2007. Livermore Software Technology Corporation (LSTC).

4. G. Nilakantan, A. Tabiei. Computational Assessment of Occupant Injury Caused by Mine Blasts underneath Infantry Vehicles / International Journal of Vehicle Structures & Systems. 2009. 1(1–3). P. 50–58.

Статья поступила в редакцию 17.03.2011 г.