

## **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИХ СИДЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ**

**Д.М. Рябов**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

e-mail: lorddenis@gmail.com

*Рассмотрены вопросы создания мобильной колесной техники с повышенной минной защитой на основе использования энергопоглощающих конструкций сидений экипажа.*

**Ключевые слова:** броневедомоуль, экипаж, сиденья, энергопоглощение, противоминная защита, LS-DYNA.

## **SELECTION OF PARAMETERS OF ENERGY-ABSORBING SEATS OF TRANSPORT VEHICLE**

**D.M. Ryabov**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

e-mail: lorddenis@gmail.com

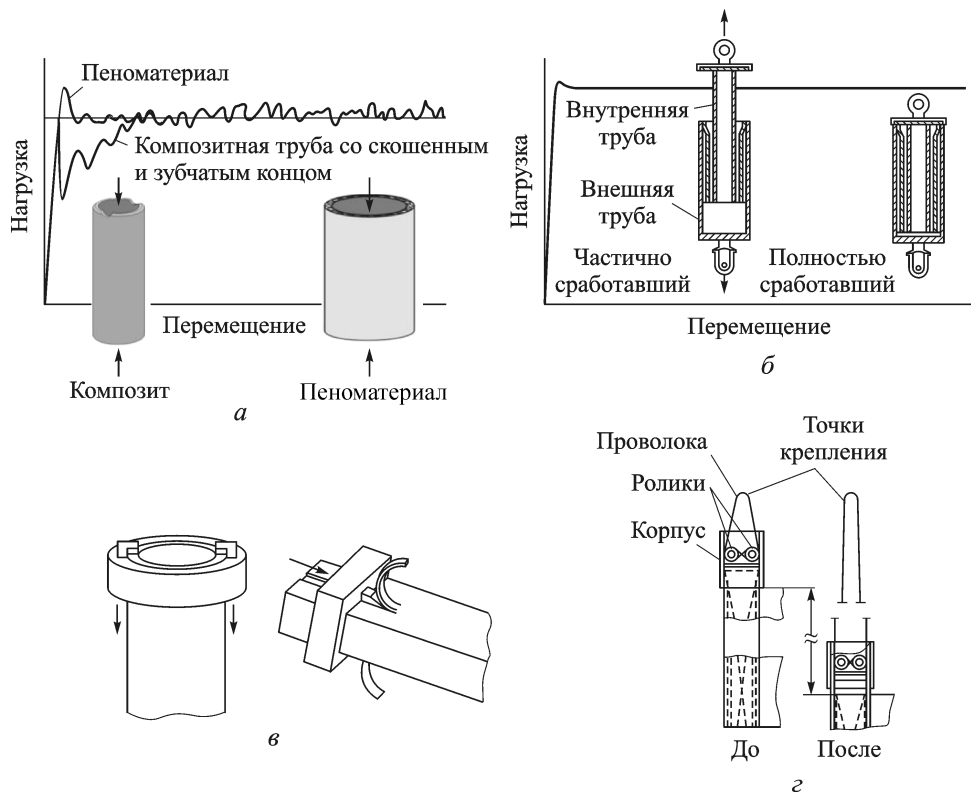
*Issues of creation of mine-resistant ambush-protected vehicles based on the use of energy-absorbing constructions of crew seats are considered.*

**Keywords:** armored vehicle, crew, seat, energy absorption, anti-mine protection, LS-DYNA.

В последнее время военные действия все чаще носят партизанский характер. Бои ведутся на узких городских улицах. Со стороны противника применяются самодельные взрывные устройства и мины, закладываемые в грунт или на поверхности на предполагаемом пути следования военной техники. Число военнослужащих, пострадавших от действия мин, сильно возросло.

Такая форма ведения боевых действий привела к необходимости создания специальной колесной техники, имеющей высокую минную стойкость и мобильность. В результате был создан броневедомоуль нового класса, который получил название MRAP (англ. Mine Resistant Ambush Protected – защищенный от подрыва и атак из засад) [1].

Создание мобильной колесной техники с повышенной минной защитой снизило число летальных исходов в результате подрыва на минах. Современные технологии позволяют создавать бронекорпусы, которые могут выдерживать подрыв мощных взрывных устройств без разрушения. Таким образом, экипаж оказывается защищенным от непосредственного действия ударной волны в случае ее затекания в разрушенный корпус. Применение композитной брони днища позволяет защитить экипаж от действия высокоскоростного потока осколков и частиц грунта. Однако это полностью не решило проблему повышения живучести экипажа, так как главная причина получения повреждений членами экипажа – действие высоких ускорений, осталась нерешенной.

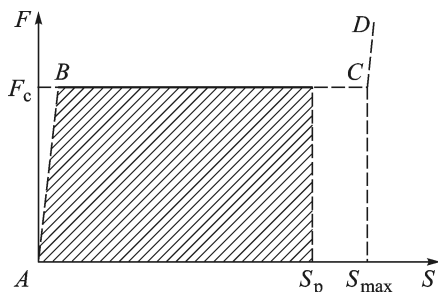


**Рис. 1. Схемы и характеристики ЭПЭ различного принципа действия:**  
*a* — сжатие трубы в осевом направлении; *б* — выворачивание трубы; *в* — срезание металла; *г* — протяжка проволоки через валки

Эффективным решением данной задачи является применение сидений энергопоглощающей конструкции. Такие сиденья снижают уровень ускорений, передающихся экипажу, с помощью элементов, которые поглощают энергию взрыва. Энергопоглощающий элемент (ЭПЭ) устанавливается между сиденьем члена экипажа и корпусом боевой колесной машины (БКМ). Большинство существующих на сегодняшний день ЭПЭ основано на преобразовании энергии взрыва в энергию пластической деформации материала (рис. 1) [2].

**Постановка задачи.** Способность элемента к поглощению энергии описывается его характеристикой — зависимостью силы  $F$  в элементе от хода  $S$  (рис. 2).

Характеристика элемента имеет следующие характерные участки:  $AB$  — участок работы ЭПЭ во время движения БКМ в штатном режиме (до подрыва);  $BC$  — участок ра-



**Рис. 2. Характеристика ЭПЭ**

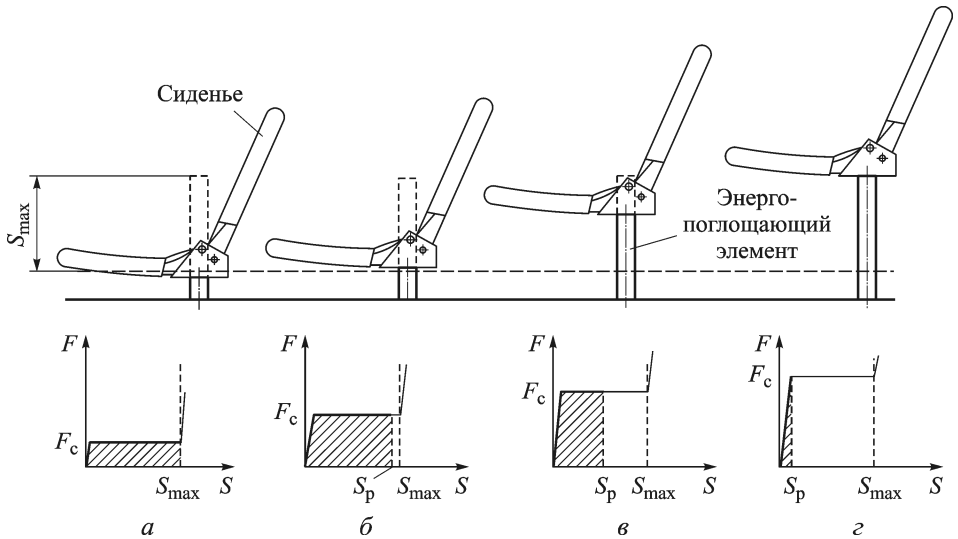
боты ЭПЭ при подрыве БКМ;  $CD$  — участок работы ЭПЭ после того как ход элемента исчерпан.

Основными параметрами, определяющими эффективность работы ЭПЭ, являются сила его срабатывания  $F_c$  — высота участка  $BC$  и его максимальный ход  $S_{max}$  — продолжительность участка  $BC$ . Количество поглощенной энергии при подрыве пропорционально силе срабатывания  $F_c$  элемента и его ходу  $S_p$  (т.е. заштрихованной площади на рис. 2).

Для увеличения поглощаемой энергии можно увеличивать силу срабатывания и ход ЭПЭ. Однако ход ЭПЭ обычно определяется компоновочными ограничениями и не может быть слишком большим, а увеличение силы срабатывания приводит к повышению нагрузок на экипаж. Характерные случаи работы ЭПЭ с различными характеристиками показаны на рис. 3.

Таким образом, можно сформулировать и решить задачу оптимизации ЭПЭ. Целевой функцией является максимальное ускорение, действующее на экипаж при подрыве, которое необходимо минимизировать. Параметром оптимизации является сила срабатывания ЭПЭ  $F_c$ .

Для вычисления целевой функции на каждом шаге оптимизации необходимо решать задачу механики деформируемого твердого тела. Для этого можно воспользоваться методом конечных элементов и программным комплексом LS-Dyna, который позволяет моделировать быстропотекающие и высоконелинейные процессы, к которым



**Рис. 3. Работа ЭПЭ в зависимости от его характеристики:**

*a* — низкая сила срабатывания (пробой элемента); *б* — оптимальная сила срабатывания (весь ход выбран); *в* — высокая сила срабатывания (не весь ход выбран); *г* — высокая сила срабатывания (элемент не сработал)

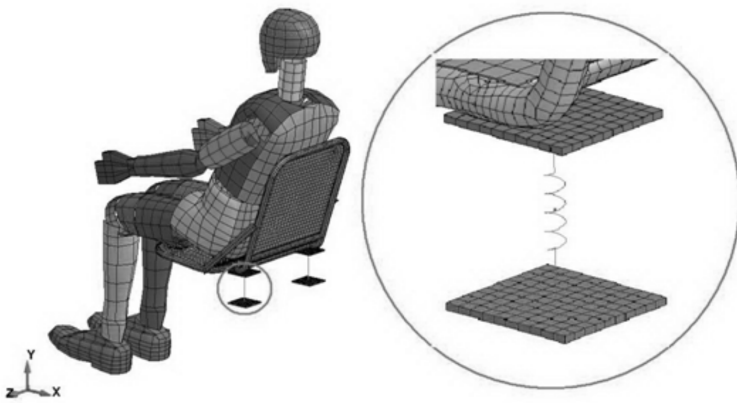


Рис. 4. Расчетная модель сиденья

относятся процессы деформации ЭПЭ. Кроме того, в LS-Dyna в расчетных моделях можно использовать конечно-элементную модель антропоморфного манекена Hybrid III [3], которая позволяет определить параметры силового воздействия на тело человека со стороны элементов сиденья и корпуса.

**Решение задачи.** Для решения задачи оптимизации в препроцессоре LS-Prepost программы LS-Dyna была создана расчетная модель сиденья с обобщенной моделью ЭПЭ (рис. 4).

Модель включает в себя каркас сиденья, два ЭПЭ и конечно-элементную модель сидящего манекена (Hybrid III). Энергопоглощающий элемент моделировался с помощью элемента \*ELEMENT\_DISCRETE и материала \*MAT\_SPRING\_ELASTOPLASTIC [4]. Данный материал описывается тремя параметрами (рис. 5):  $K$  — тангенс угла наклона характеристики в упругой зоне (при оптимизации принят постоянным);  $FY$  — сила, характеризующая начало пластических деформаций элемента (параметр оптимизации);  $KT$  — тангенс угла наклона характеристики в зоне пластичности (при оптимизации принят постоянным). Максимальный ход элемента  $S_{max} = 100$  мм.

Резкое возрастание силы при пробое элемента моделировалось заданием контакта пластин крепления с помощью контактного алгоритма \*AUTOMATIC\_SINGLE\_SURFACE.

Воздействие прикладывалось к нижней пластине крепления в виде зависимости ускорения от времени, полученной на местах крепления сиденья при расчете конечно-элементной модели корпуса БКМ при

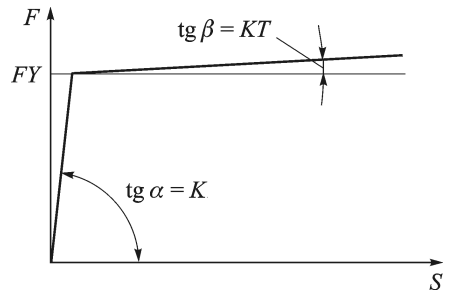
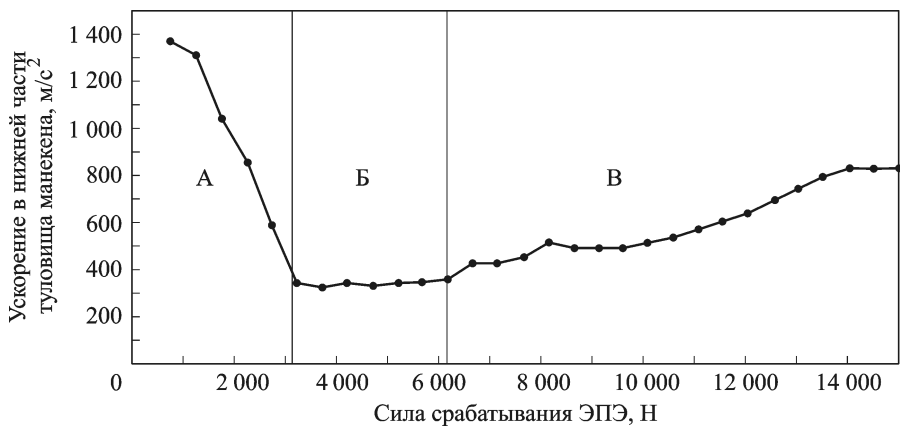


Рис. 5. Характеристика материала \*MAT\_SPRING\_ELASTOPLASTIC



**Рис. 6. Зависимость максимального ускорения нижней части туловища манекена от силы срабатывания ЭПЭ**

подрыве на заряде массой 6 кг в тротиловом эквиваленте, выполненном в работе [5].

Для определения целевой функции при расчете определялось максимальное вертикальное ускорение, возникающее в нижней части туловища манекена. Данный силовой фактор используется для определения критерия повреждения позвоночника DRI [5].

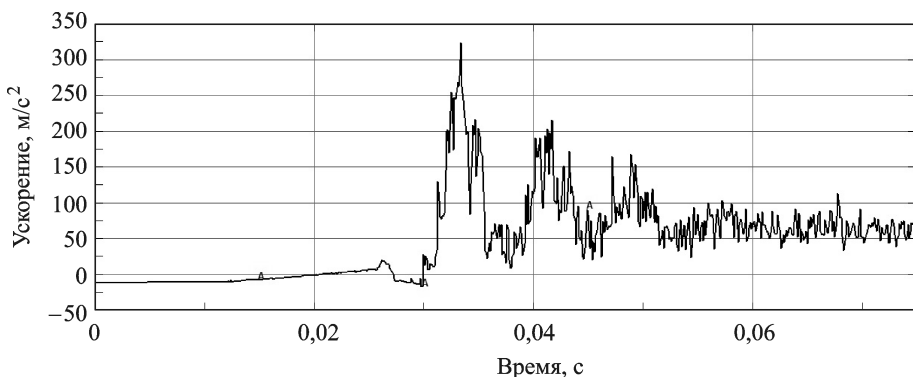
В ходе оптимизации для построения графика целевой функции было проведено 30 расчетов, при этом параметр оптимизации  $F_c$  равномерно изменялся на отрезке от 750 до 15000 Н.

**Анализ результатов.** График максимального ускорения нижней части туловища манекена (целевой функции) в зависимости от силы срабатывания ЭПЭ (параметра оптимизации) приведен на рис. 6.

На нем можно выделить три характерных участка. Высокие ускорения на участке А объясняются низкой силой срабатывания ЭПЭ, в результате чего происходил пробой элемента. С ростом силы срабатывания ЭПЭ пробой элемента прекращается и ускорение приобретает минимальное значение (участок Б). Дальнейший рост силы срабатывания ЭПЭ (участок В) увеличивает силу, действующую на человека со стороны сиденья, и, следовательно, ускорение нижней части туловища манекена.

На рис. 7 представлена зависимость ускорения от времени, полученная в результате расчета ЭПЭ с оптимальной характеристикой. На рис. 8 показано состояние ЭПЭ в конце расчета. Максимальное значение ускорения в этом случае составило  $330 \text{ м/с}^2$ .

**Выводы.** В настоящее время применение сидений энергопоглощающей конструкции является эффективной мерой повышения живучести экипажа БКМ при подрыве. Основная задача при проектировании таких сидений — поиск оптимальной характеристики ЭПЭ.

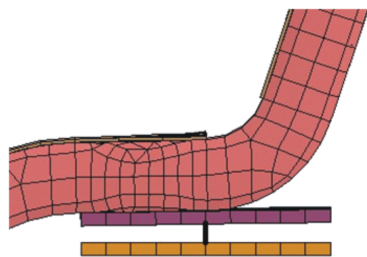


**Рис. 7. Зависимость ускорения от времени, полученная при расчете ЭПЭ с оптимальной характеристикой**

В качестве целевой функции при оптимизации целесообразно использовать максимальное ускорение, действующее на экипаж при подрыве, которое необходимо минимизировать. Параметром оптимизации является сила срабатывания ЭПЭ.

Проведенные расчеты показали, что при ограничении на максимальный ход ЭПЭ и при определенных значениях силы срабатывания ЭПЭ у целевой функции существует явно выраженный минимум.

Таким образом, при конструкторской разработке энергопоглощающего сиденья необходимо выбрать такую конструкцию и параметры ЭПЭ, чтобы его сила срабатывания была близка к оптимальной.



**Рис. 8. ЭПЭ после срабатывания**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wikipedia. MRAP // URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/MRAP>
2. Stanley P. Desjardins. The evolution of energy absorption systems for crashworthy helicopter seats // URL: [http://www.fire.tc.faa.gov/2004Conference/files/crash/S.Desjardins\\_Energy\\_absorption-helicopter\\_seats.pdf](http://www.fire.tc.faa.gov/2004Conference/files/crash/S.Desjardins_Energy_absorption-helicopter_seats.pdf)
3. Bustien H., Rancourt D. Evaluation of existing dummy & human numerical models. // URL: <http://pubs.drdc.gc.ca/PDFS/unc87/p531131.pdf>
4. LS-DYNA User's Manual, Version 971, May 2007, Livermore Software Technology Corporation (LSTC).
5. Рябов Д. М., Смирнов А. А., Бутарович Д. О. Методы снижения поражающего воздействия на экипаж броневедомоля при подрыве / Materiali VII mezinarnodni vedecko-praktika conference "Nastoleni moderni vedy – 2011". – Dil. 12. Technicke vedy: Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o. – 104 stran.

Статья поступила в редакцию 19.04.2012