

## Метод расчета сидений энергопоглощающих конструкций бронированных колесных машин

© Д.М. Рябов, А.А. Смирнов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Основным поражающим фактором при подрыве броневедомоля на мине является действие на экипаж высоких ускорений. Перспективный способ снижения высоких ускорений — применение сидений энергопоглощающей конструкции. При проектировании такого сиденья основной задачей для конструктора является расчет оптимальной характеристики сиденья. В статье рассмотрен метод, позволяющий произвести расчет сиденья энергопоглощающей конструкции, как для существующих образцов бронированной колесной техники, так и для находящихся на стадии проектирования.*

**Ключевые слова:** *броневая колесная машина, экипаж, сидение, противоминная защита, LS-Дупа, MRAP.*

Современные технологии и конструктивные решения позволяют создавать образцы колесной бронетехники с высокой противоминной и баллистической защитой. Такие конструктивные решения, как V-образное днище, высокий клиренс, открытые колесные арки, позволяют избежать разрушения корпуса броневой колесной машины (БКМ) и затекания внутрь нее взрывной волны, защищают экипаж от потока осколков, а также снижают действие на экипаж высоких ускорений [1–3]. Однако в последнее время со стороны противника применяются все бóльшие по мощности заряды и становится сложно защитить экипаж от главного поражающего фактора — высоких ускорений.

Впервые с проблемой защиты экипажа от действия высоких ускорений столкнулись в авиации. Для этого были разработаны специальные сидения, оснащенные энергопоглощающим элементом (ЭПЭ), который снижал высокие ускорения до предельно допустимого уровня при экстренном приземлении или падении [4, 5]. Позже такие сиденья были применены на образцах военной колесной техники для защиты экипажа при подрыве [6, 7].

Основной задачей при проектировании таких сидений является расчет оптимальных параметров ЭПЭ. На сегодняшний день российские компании при разработке энергопоглощающих сидений рассчитывают оптимальные параметры ЭПЭ путем проведения многочисленных дорогостоящих экспериментов. Представленный в работе метод позволяет решать задачу ударно-волнового нагружения и пла-

стических деформаций сидений путем применения современных программных комплексов.

Разработанный метод базируется на компьютерном имитационном моделировании процессов ударно-волнового воздействия (УВВ) на БКМ и деформации ЭПЭ с последующей оценкой критериев повреждения с помощью конечно-элементных моделей (КЭМ) манекенов в программном комплексе LS-Dyna.

Рассмотрим реализацию метода на примере расчета сиденья энергопоглощающей конструкции (СЭК) для БКМ на базе «Урал-4320» (рис. 1).

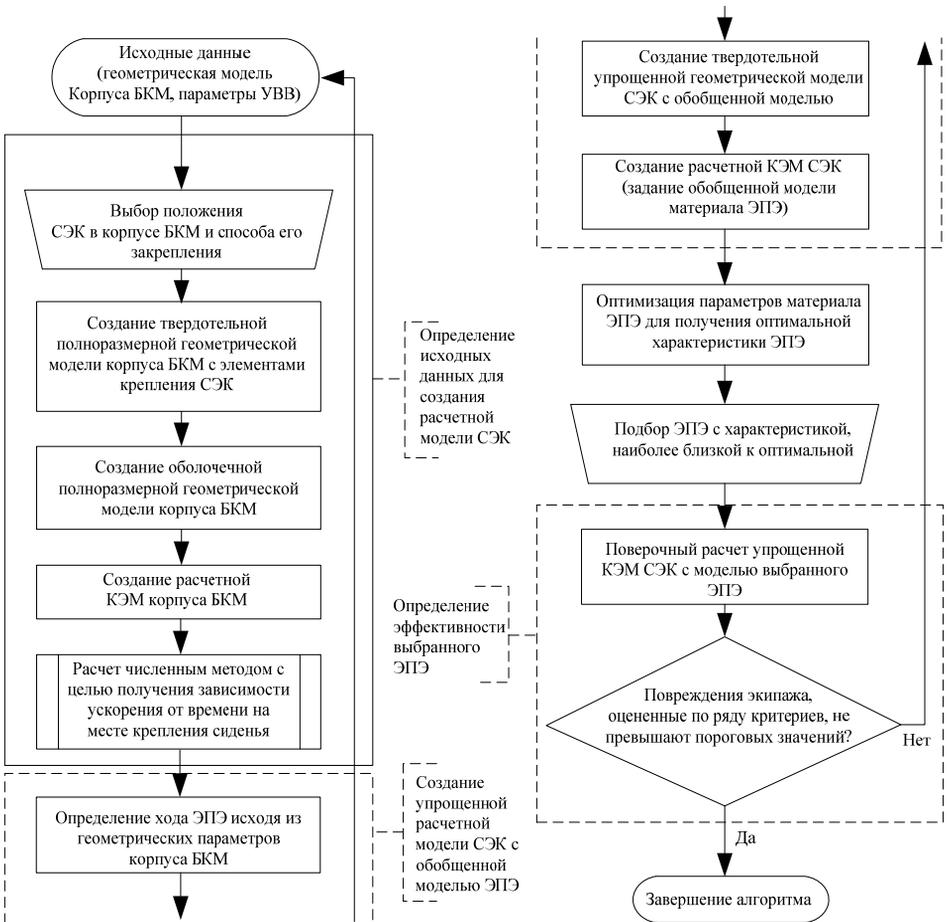


Рис. 1. Блок-схема расчета СЭК

В качестве исходных данных выбрана зависимость ускорения от времени на местах крепления сидений в корпусе БКМ, полученная в результате проведения натурных испытаний, а также максимально допустимый внутренней геометрией корпуса ход сиденья, равный 100 мм.

После этого была создана упрощенная расчетная модель СЭК (рис. 2).

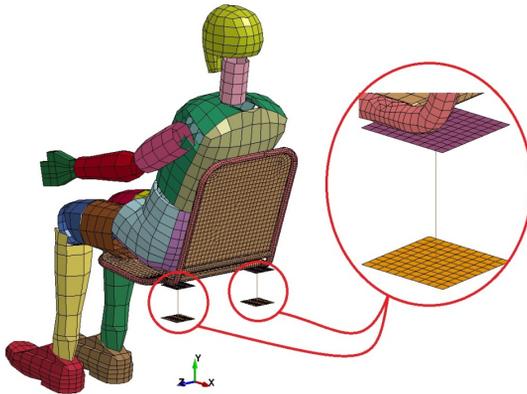


Рис. 2. Расчетная КЭМ СЭК

ЭПЭ моделируется с помощью элемента ELEMENTE DISCRETE, характеристика которого представлена на рис. 3 [8, 9].

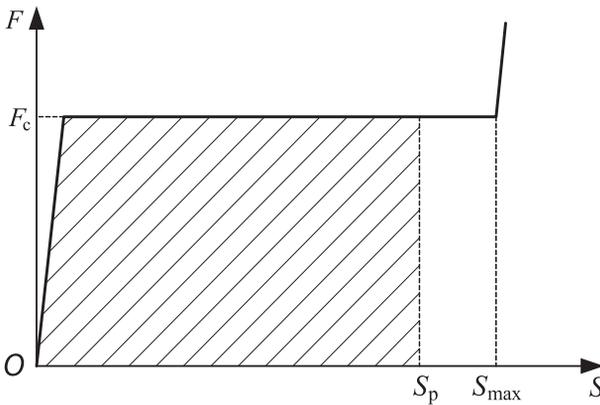


Рис. 3. Изменение силы срабатывания  $F_c$  ЭПЭ в зависимости от его хода  $S$

Количество поглощенной энергии при подрыве пропорционально силе срабатывания  $F_c$  ЭПЭ и его ходу  $S_p$ . Для оценки повреждений, получаемых экипажем при подрыве, использована КЭМ манекена Hybrid III [10–12]. В качестве внешнего воздействия задана выбранная зависимость ускорения от времени.

Далее на основе созданной упрощенной модели проводится оптимизация характеристики ЭПЭ методом условной оптимизации нулевого порядка. Цель оптимизации — нахождение такой характеристики ЭПЭ, при которой члены экипажа получали бы минимальные повреждения.

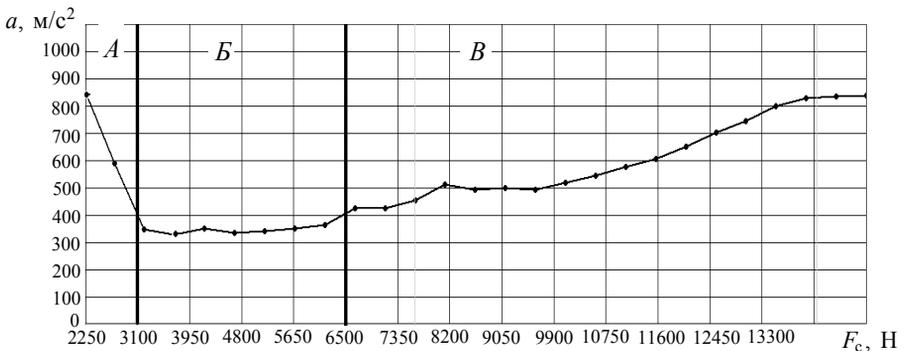
Управляемым параметром при оптимизации является сила срабатывания  $F_c$ , на которую введено ограничение  $F_c > F_{c \min}$ , т. е. ЭПЭ не должен срабатывать при эксплуатации БКМ в штатном режиме. Целевая функция  $\max_{t \in [0, T]}(a(t))$  — это максимальное ускорение в нижней

части туловища манекена на расчетном отрезке времени. Математическая формулировка задачи имеет вид

$$\min_{F_c \in D} \left[ \max_{t \in [0, T]} (a(t)) \right],$$

где  $D$  — область допустимых значений параметра оптимизации  $F_c$ , заданная неравенством  $F_c > F_{c \min}$ .

В ходе оптимизации получена зависимость ускорения в нижней части туловища манекена от силы срабатывания ЭПЭ (рис. 4).



**Рис. 4.** Зависимость максимального ускорения нижней части туловища манекена от силы срабатывания одного ЭПЭ

На графике можно выделить три характерных участка. Высокие ускорения на участке  $A$  объясняются низкой силой срабатывания, в результате чего происходил пробой ЭПЭ. С ростом силы срабатывания пробой ЭПЭ прекращается и ускорение приобретает минимальное значение (участок  $B$ ). При повышении силы срабатывания (участок  $B$ ) возрастает сила, действующая на человека со стороны сиденья, а следовательно, и ускорение нижней части туловища манекена. При дальнейшем увеличении силы срабатывания ЭПЭ СЭК станет эквивалентно обычному сиденью, жестко закрепленному в корпусе БКМ, при этом ускорение, действующее на человека, значительно возрастает.

Наименьшее ускорение, действующее на нижнюю часть тела манекена, достигается на участке  $B$  при  $F_c = 3700$  Н. В этом случае максимальное ускорение  $a_{\max} = 330$   $\text{м/с}^2$ , а ход  $S = 94$  мм.

На следующем этапе подбирался ЭПЭ, у которого сила срабатывания наиболее близка к найденной в результате оптимизации. Был выбран тип ЭПЭ, работа которого основана на пластической деформации стальной проволоки.

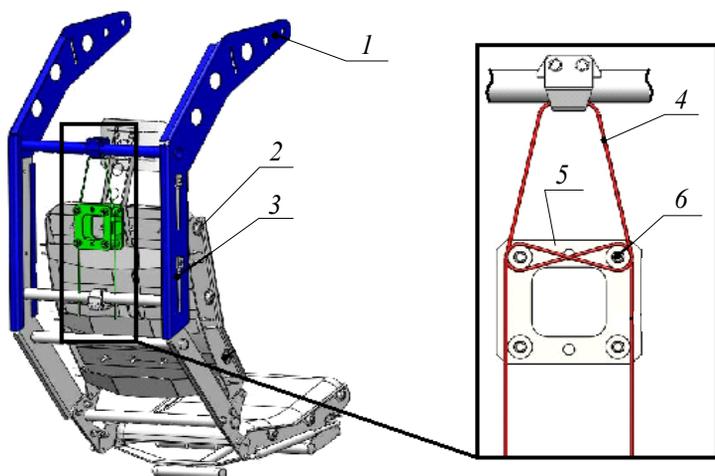


Рис. 5. Геометрическая модель СЭК

Проволока 4 (рис. 5) ЭПЭ в верхней части прикреплена к кронштейнам корпуса 1 БКМ, а корпус 5 ЭПЭ — к каркасу 2 СЭК. Таким образом, сиденье оказывается закреплено в корпусе БКМ через ЭПЭ. Во время подрыва корпус БКМ движется вверх, а сиденье смещается вниз по направляющим 3. При этом проволока протягивается вокруг валков 6 корпуса ЭПЭ, пластически деформируясь вследствие изменения ее кривизны, и происходит поглощение энергии. Для подбора параметров ЭПЭ (диаметр проволоки, геометрия корпуса) была создана его расчетная модель.

На следующем этапе проводился расчет точной модели СЭК, включающей в себя модель выбранного проволочного ЭПЭ и более подробную модель манекена Hybrid III, по результатам которого с использованием критериев повреждения оценивалась эффективность СЭК [13, 14].

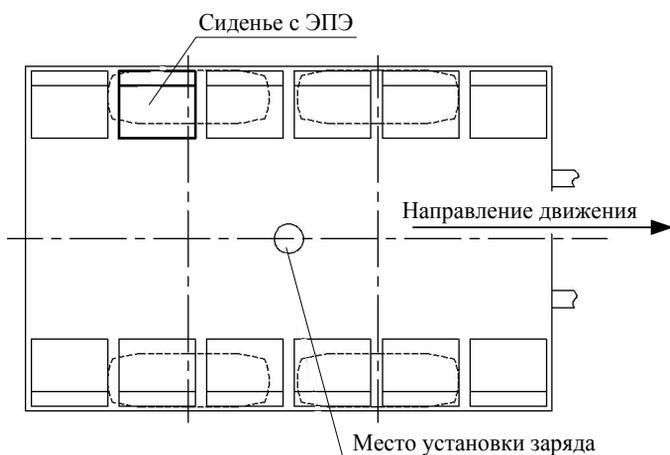
Результаты расчета точной модели СЭК приведены ниже:

Индекс реакции позвоночника (DRI).....	14,335 (17,7)
Сжимающая сила в шее через 13 мс, кН.....	1,38 (4 (0 мс) и 1,1 (30 мс))
Пиковое значение сгибающего момента в шее, Н·м.....	6,3 (190)

Примечание. В скобках указаны предельные значения критериев повреждения.

Точность разработанных моделей оценивали путем проведения эксперимента по подрыву БКМ на базе «Урал-4320», организованного ЗАО Корпорация «Защита» на территории 38 НИИ МО РФ.

В корпусе БКМ установлены сиденья производства ЗАО Корпорация «Защита», одно из которых оснащено рассчитанным ЭПЭ. Схема установки сидений в корпусе БКМ представлена на рис. 6.



**Рис. 6.** Схема установки сидений в корпусе БКМ

Измеряемыми параметрами при проведении эксперимента являлись ускорение, возникающее на подушке сиденья, и его ход (рис. 7).



**Рис. 7.** Размещение датчика ускорения

При подрыве использовали безоболочечное взрывчатое вещество массой 6 кг в тротиловом эквиваленте. Заряд имел форму параллелепипеда и размещался под геометрическим центром днища в специальном приспособлении, имитирующем закладку взрывчатого вещества в скальный грунт, а также был засыпан и утрамбован слоем маскирующего песка.

В результате подрыва бронекорпус сместился относительно исходного положения на расстояние 0,5 м, но не перевернулся, при этом целостность не нарушена. Максимальное значение ускорения на подушке сиденья составило  $133,7 \text{ м/с}^2$ , время действия ускорения 0,057 с, ход сиденья 30 мм.

Для определения степени тяжести повреждений, получаемых экипажем при подрыве, использовали критерий DRI. Значение критерия составило 9,76, что ниже предельно допустимого значения, равного 17,7.

Таким образом, разработанный метод позволяет проводить расчет СЭК для уже существующих и находящихся на стадии проектирования БКМ. Исходные данные для расчета (зависимость ускорения от времени на месте крепления сиденья в БКМ) могут быть получены как в результате экспериментов, так и при расчете разрабатываемой БКМ на подрыв. Встроенные в современные программные комплексы антропоморфные модели манекенов позволяют проводить оценку эффективности разрабатываемого СЭК. Найденная в ходе проведения оптимизации характеристика может быть реализована в ЭПЭ различных конструкций.

## 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, с. 10–14.
- [2] Бутарович Д.О., Рябов Д.М., Смирнов А.А. Повышение противоминной защищенности бронированной колесной техники при помощи защитных экранов из пористых энергопоглощающих металлов. *Вопросы оборонной техники*, 2011, сер. 16, вып. 1–2, с. 21–25.
- [3] Рябов Д.М., Смирнов А.А., Бутарович Д.О. Методы снижения поражающего воздействия на экипаж броневедомобиля при подрыве. *Мат. VII Междунар. науч.-практ. конф. «Становление современной науки — 2011»*. Прага, Изд. дом «Образование и наука», 2011, вып. 12, с. 57–65.
- [4] Desjardins S. *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)
- [5] Kellas S. *Energy Absorbing Seat System for an Agricultural Aircraft*. URL: [citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.57.6685&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.57.6685&rep=rep1&type=pdf)
- [6] Кулаков Н.А., Гаврилов Е.В. Разработка математической модели энергопоглощающего кресла с использованием результатов копровых испытаний. URL: [http://www.mami.ru/science/aai77/scientific/article/s04/s04\\_12.pdf](http://www.mami.ru/science/aai77/scientific/article/s04/s04_12.pdf).

- [7] Кулаков Н.А. Оценка фугасного воздействия мин на несущие конструкции и экипажи автобронетанковой техники. Поражающие факторы. Способы защиты. URL: [http://www.mami.ru/science/aai77/scientific/article/s04/s04\\_11.pdf](http://www.mami.ru/science/aai77/scientific/article/s04/s04_11.pdf)
- [8] LS-DYNA User's Manual, Version 971, May 2007, Livermore Software Technology Corporation (LSTC).
- [9] LS-PRE/POST v1.0 manual. URL: <http://www.dynasupport.com/manuals/additional/ls-pre-post-v1.0-manual>.
- [10] Bastien H., Denis Jr. *Evaluation of existing dummy and human numerical models*. URL: [http://www.oasys-software.com/dyna/en/fe-models/lstc\\_dummies/LSTC.H3.103008\\_v1.0\\_Documentation.pdf](http://www.oasys-software.com/dyna/en/fe-models/lstc_dummies/LSTC.H3.103008_v1.0_Documentation.pdf)
- [11] Guha S., Bhalsod D., Krebs J. *LSTC Hybrid III Dummies. Positioning and Post-Processing*. URL: <http://pubs.drdc.gc.ca/PDFS/unc82/p531131.pdf>
- [12] Tabieci A. *Validation of finite element crash test dummy models for the prediction of orion crew member injured during a simulated vehicle landing*. URL: <http://www.dynalook.com/international-conf-2008/SimulationTechnology5-1.pdf>
- [13] *RTO-TR-HFM-090 «Test methodology for protection of vehicle occupants against anti-vehicular landmine effects»*. URL: <http://www.rta.nato.int/pubs/rdp.asp?RDP=RTO-TR-HFM-090>
- [14] Stoll A.M. *Human tolerance to positive G as determined by the physiological endpoints*. URL: <http://spacemedicineassociation.org/timeline/1956/27004.pdf>

Статья поступила в редакцию 11.10.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Рябов Д.М., Смирнов А.А. Метод расчета сидений энергопоглощающих конструкций бронированных колесных машин. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/1038.html>

**Рябов Денис Михайлович** — канд. техн. наук, ассистент кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 7 научных работ в области проектирования колесных машин высокой проходимости. e-mail: [rbvdns@gmail.com](mailto:rbvdns@gmail.com)

**Смирнов Александр Анатольевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 44 научных работ в области проектирования колесных машин. e-mail: [smr\\_a@mail.ru](mailto:smr_a@mail.ru)