

УДАРОПОГЛОЩАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ТОРОИДАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК: АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТА И ПРОТОТИПЫ КОНСТРУКЦИЙ

Богданов В.В.^{1,2}, Орешин Я.А.¹, Силаев С.А.¹, Чабунин И.С.¹

¹*Московское высшее общевойсковое командное училище;*

²*Государственный университет управления, Москва*

Ключевые слова: тонкостенные оболочки, крашбокс, демпфирование, ударопоглощающие устройства, автотранспортная техника, алгоритмы расчётов, высокопроизводительные вычисления.

Аннотация. В статье изложен подход к созданию ударопоглощающих устройств на основе тонкостенных оболочек тороидальных форм, близких к катеноиду. Затрагиваются вопросы алгоритмизации их прочностных и жёсткостных расчётов, использования высокопроизводительных вычислений при создании прототипов конструкций, а также их практического применения разработанных моделей в демпфирующих устройствах. На основании проведённых авторами исследований, предложен ряд полезных моделей (на патенты РФ).

SHOCK-ABSORBING DEVICES BASED ON TOROIDAL THIN-SHELL STRUCTURES: CALCULATIONS ALGORITHMS AND CONSTRUCTION'S PROTOTYPES

Bogdanov V.V.^{1,2}, Oreshin Ya.A.¹, Silaev S.A.¹, Chabunin I.S.¹

¹*Moscow higher military command school;*

²*Moscow State University of Management, Moscow*

Keywords: thin-shell structures, crash box, damping, shock-absorbing devices, motor vehicles, calculation algorithms, high-performance computing.

Abstract. An approach to the creation of shock-absorbing devices based on thin-shell shell structures of toroidal shapes near-catenoid is described. The questions of algorithmization the strength-stiffness calculations of thin-shell construction, the usage of high-performance computing in the creation of prototypes of structures, as well as its practical application of the developed models in damping devices are touched upon. Based on the research carried out by authors, the number of utility models have been proposed (for patents of the Russian Federation).

Рассматривая различные варианты тонкостенных оболочечных конструкций, которые во многих устройствах автотранспортной техники выполняют ударозащитные функции, можно сделать закономерный вывод, что наиболее оптимальной среди них по параметрам массы, эргономики и спектра упругопластических деформаций являются формы, близкие к катеноиду [1, 2].

Под катеноидом будем понимать поверхность отрицательной гауссовой кривизны, которая образована вращением цепной линии. Радиусы кривизны катеноида равны: $R_2 = -R_1 = \frac{r_0}{\sin^2 \theta}$, где r_0 – радиус наименьшего параллельного круга поверхности.

Пассивная система гашения демпфирования ударной нагрузки достаточно давно применяется в автотранспортной технике. Такие устройства называются

энергопоглощающие вставки или крашбоксы. Как правило, крашбокс – это отдельно взятая тонкостенная оболочка, монтируемая между лонжероном автомобиля и бамперным брусом. Однако в технике, в частности, в автомобилестроении, известны примеры использования составных конструкций на основе тонкостенных оболочек. В основном это энергопоглощающие барьеры, устанавливаемые на опасных крутых поворотах трасс или заградительные барьеры, монтируемые при ремонтных работах на скоростных трассах, когда нельзя полностью перекрыть движение.

В последнее время опыт использования деформируемых барьеров и крашбоксов успешно применяется в военной технике [3, 4]. За рубежом широкое распространение получили одноразовые грузовые парашютные системы, например, серий LCADS-LV (Low Cost Aerial Delivery System – Low Velocity) и LCADS-HV (Low Cost Aerial Delivery System – High Velocity). Обе одноразовые парашютные системы используют одноразовый грузовой контейнер типа LCC (Low Cost Container). Контейнер состоит из фанерной платформы, многослойных бумажных амортизаторов, изготавливаемых из легкого полипропилена ремней крепления и др. конструктивных элементов, которые в данной статье не упоминаются по причине акцента исключительно на элементах пассивной системы демпфирования в виде оболочечных конструкций.

Следует отметить, что разработки в области десантирования грузов, как способа тылового обеспечения подчиненных подразделений и проведении гуманитарных операций, представляют собой актуальную задачу и уже активно используется потенциальным противником – командованием коалиционных сил Запада в Афганистане, Ираке и Сирии. В ходе подобных операций применяются вышеупомянутые грузовые контейнеры. Кроме того, военная тематика легко трансформируется в гражданскую, если иметь ввиду не потенциальный театр боевых действий, а гуманитарные операции или ликвидацию последствий при возникающих природных катаклизмах, когда необходимо без потерь перебрасывать тяжёлые грузы или технику на места, лишённые по тем или иным причинам аэродромов или складских площадок.

Однако большинство конструктивных решений (когда используются тонкостенные оболочки, преимущественно сотовых структур, как по отдельности, так и в виде так называемых сэндвич-панелей) не являются оптимальными с точки зрения либо недостаточно большой величины деформационного пути для гашения скорости в процессе столкновения транспортных средств, либо формы самого крашбокса. Так, например, на платформах, используемых для десантирования армейской бронетехники или энергопоглощающих барьерах, как правило, используется сотовая слоистая конструкция (последовательно установленные друг на друге и сопряжённые между собой крашбоксы), что также накладывает ограничения на габариты и количество слоёв. При таком расположении соединяемых крашбоксом деталей конструкций невозможно в полной мере реализовать максимально возможную длину для потенциальной деформации этого ударопоглощающего элемента, а также использовать заложенный при проектировании диапазон прочностных свойств соединения, и, следовательно, снижение энергетического уровня при восприятии ударной нагрузки ударопоглощающим устройством не достаточно эффективно.

В связи с вышеизложенным, авторы поставили следующую задачу. Разработать модель крашбокса и составной конструкции на его основе, в которой заложена реализация максимально возможного снижения энергетического уровня при соударении за счёт использования предельно возможной величины продольного деформирования крашбокса при сохранении его посадочных габаритов и особенностей формы, в частности, сочетание положительной и отрицательной Гауссовой кривизны срединной поверхности, что позволит наиболее эффективно минимизировать последствия удара.

Техническим результатом предложенной модели является наиболее эффективное снижение энергии удара при потенциальном соударении за счёт применения составной оболочечной конструкции из чередующихся тонкостенных оболочек положительной и отрицательной Гауссовой кривизны срединной поверхности, близких к катеноиду, а также экономия материала по сравнению с существующими серийными ударопоглощающими вставками в виде полых тонкостенных цилиндров, параллелепипедов или шести-восьмигранников.

Техническим решением предложенной модели является применение составной тонкостенной оболочечной конструкции с чередованием двух или более оболочек, близких к катеноиду, сочетающих положительную и отрицательную Гауссову кривизну срединной поверхности, что позволяет эффективно и в наиболее полной мере использовать длину (высоту) данного составного энергопоглощающего элемента для деформации вследствие соударения (рис. 1), что было подтверждено проведенным расчетом методом конечных элементов в программном комплексе NASTRAN.

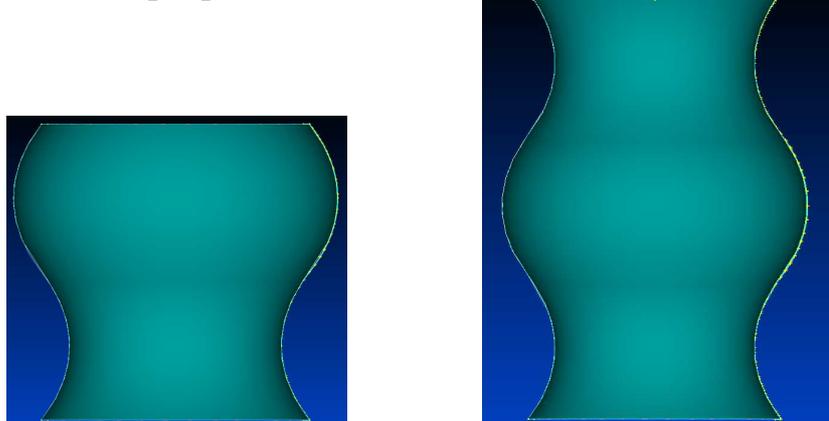


Рис. 1. Варианты составных конструкций крашбокса

Следует отметить, что в предложенных вариантах составных конструкций крашбоксов помимо уменьшения массы обеспечивается возможность большего взаимного сближения концов (торцов) тонкостенной оболочечной конструкции при её деформации. Для варианта составной ударозащитной конструкции (рис. 2), например, для платформы десантирования, если идёт речь о замене послойно установленных амортизаторов на блок составных крашбоксов также без значительной потери устойчивости сопряжённых между собой составных крашбоксов, достигается более значительное максимальное замедление по сравнению с существующими прямоугольными и восьмигранными формами сотовых слоистых амортизационных элементов и повышается энергоёмкость ударозащитной конструкции в целом. Данные утверждения авторов основаны

также на расчётах, осуществлённых методом конечных элементов вышеупомянутого софт-пакета, в рамках данной статьи не приводятся, содержатся в работах из списка литературы, например [2, 5, 6].

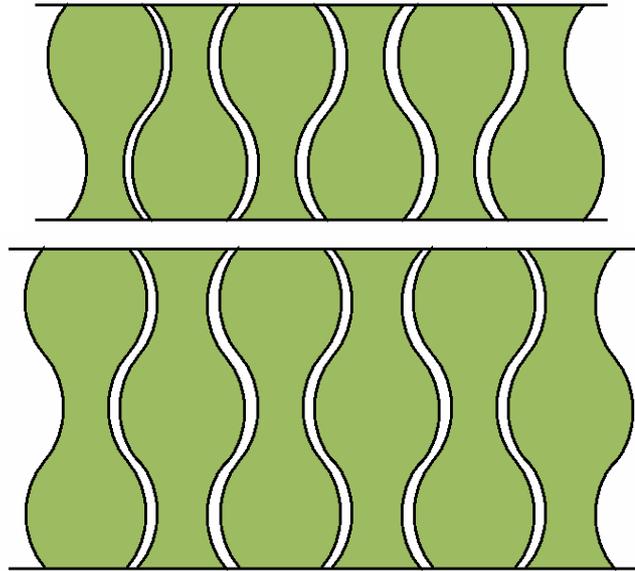


Рис. 2. Варианты сопряжения предлагаемых форм крашбоксов

Предлагаемый авторами прототип одноразового устройства для снижения последствий ударной нагрузки работает следующим образом. При потенциальном соударении с неподвижным или движущимся препятствием, крашбокс или конструкция в виде энергопоглощающего барьера/ платформы для десантирования тяжёлой армейской бронетехники на основе сопряженных крашбоксов начинает деформироваться в продольном направлении (направлении высоты крашбокса), реализуя при этом всю максимально возможную длину (высоту) данного составного энергопоглощающего элемента; при этом в процесс снижения последствий соударения включается как увеличенная длина элемента благодаря составным частям, так и специфическая форма поперечного сечения, благодаря которой происходит увеличение энергии упругопластических деформаций и, как результат, снижение жёсткости всей конструкции ударопоглощающего устройства.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет эффективно и в наиболее полной мере обеспечить гашение ударной нагрузки, повысить степень снижения энергетического уровня при соударении и, тем самым, либо минимизировать степень травмирования участников ДТП – водителя, пассажиров транспортных средств, пешеходов – в случае использования в виде крашбокса или энергопоглощающего барьера, либо сохранить функциональные свойства армейской бронетехники – в случае использования предлагаемой формы крашбокса в виде элементов платформ десантирования/ военных грузовых контейнеров. По результатам проведенного авторами исследования и численного моделирования процесса деформации получен патент РФ на полезную модель крашбокса [7].

Список литературы

1. Богданов В.В., Богомольный В.М., Репрев М.Ю. Особенности расчёта прочностных и жёсткостных характеристик ударозащитного торообразного бампера транспортного

- средства // Сборник трудов XXVI Международной инновационно-ориентированной конференции молодых учёных и студентов (МИКМУС-2014). – М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2015. – С. 86-89.
2. Богданов В.В., Богомольный В.М., Репрев М.Ю. Двухкритериальная оптимизация демпфирующих свойств торообразной оболочки краш-бокса // Сборник докладов XI Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. – Казань: Изд-во КазГУ, 2015. – С. 487-489.
 3. Богданов В.В., Богданов Д.С. Особенности расчёта прочностных и жёсткостных характеристик ударозащитного торообразного крашбокса транспортного средства // Сборник избранных трудов научно-технической конференции «Современные технологии при решении военно-прикладных задач». – М: ВИ(О) ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ», 2017. – С. 14-19.
 4. Десантирование грузов для коалиционных сил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.afcent.af.mil.htm>.
 5. Патент №2555871 РФ. Ударозащитное устройство с пассивной системой демпфирования / В.В. Богданов, В.М. Богомольный. – Заявка №2014125882/11 от 26.06.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. №19.
 6. Патент №175120 РФ. Крашбокс транспортного средства с овальным основанием и в форме катеноида / В.В. Богданов, И.С. Чабунин. – Заявка №2016146156 от 24.11.2016; опубл. 21.11.2017, Бюл. №33.
 7. Патент №209347 РФ. Ударопоглощающее устройство автотранспортной техники с составными участками в форме катеноида / В.В. Богданов, И.С. Чабунин, Г.А. Бондаренко. – Заявка №2021103385 от 11.02.2021; опубл. 15.03.2022, Бюл. №8.

Сведения об авторах:

Богданов Владимир Викторович – к.т.н., доцент, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин МВОКУ, доцент кафедры «Математические методы в экономике и управлении» ГУУ;

Орешин Ярослав Андреевич – курсант;

Силаев Семен Андреевич – курсант;

Чабунин Игорь Сергеевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой общепрофессиональных дисциплин.