

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ  
ЛОНЖЕРОНА ОСНОВАНИЯ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ  
ПРИ БОКОВОМ СТОЛКНОВЕНИИ**

**Н.А. Базикян<sup>1</sup>, В.Г. Мусаелян<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный аграрный университет Армении*

<sup>2</sup>*Национальный политехнический университет Армении*

Методом конечных элементов разработана расчетная модель процесса бокового столкновения лонжерона основания кузова легкового автомобиля. Представленная методика расчета дает возможность исследовать процесс деформирования тонкостенного стержня со сложной структурой поперечного сечения при разных случаях столкновения. С помощью программного пакета LS-DYNA с применением конечных элементов Shell 163 получена модель нелинейного деформирования участка кузова, которая позволяет определить деформированный вид конструкции, распределение напряжений и деформаций в процессе столкновения. Получены распределения компонентов энергии в процессе динамического нагружения, посредством которых можно оценить энергоемкость лонжерона при столкновении с заданными параметрами. Проведена оценка энергоемкости конструкции путем изменения геометрических параметров и применения разных материалов для компонентов лонжерона.

**Ключевые слова:** кузов автомобиля, метод конечных элементов, расчетная модель, продольные и поперечные балки, боковое столкновение.

**Введение.** Кузов легкового автомобиля является основой, на которой размещаются все остальные узлы и агрегаты, поэтому он должен быть прочным, жестким и энергоемким при ударных нагрузках. Основу кузова создает каркас, который состоит из боковин, лонжеронов основания, стоек кузова, панели пола, тоннеля карданного вала и т.д. [1]. Производство конструкции кузова – достаточно сложный и трудоемкий процесс.

Каркас кузова - сварная, неразборная, жесткая пространственная стержневая конструкция, являющаяся несущей системой автомобиля. К составным элементам этой системы относятся стойки боковины, лонжероны и пороги пола, боковой брус и различные поперечины.

При производстве новых автомобилей важной задачей является повышение пассивной безопасности, которое достигается улучшением конструктивной безопасности несущей системы при различных схемах столкновения автомобиля

[2]. При ударном нагружении появляются нелинейные большие деформации, напряжения и ускорения.

При столкновении конструкция испытывает потерю устойчивости, имеют место смятие, изгиб, появление пластических шарниров и др. Решение таких задач осуществляется методом конечных элементов (МКЭ).

Известно, что основную долю энергии удара воспринимают элементы каркасного типа кузова. Как правило, они представляют собой тонкостенные конструкции относительно малого поперечного сечения, нередко переменного по длине.

В данной статье основное внимание уделено разработке конечно-элементных моделей для расчета тонкостенного лонжерона основания кузова автомобиля со сложным поперечным сечением (закрытый тип).

**Постановка задачи.** Целью данной работы является: разработка расчетной модели лонжерона основания кузова легкового автомобиля с применением МКЭ, что дает возможность исследовать процесс его деформирования при боковом столкновении, а также выявить распределение компонентов энергии; определение деформированных видов рассмотренного лонжерона; повышение энергоемкости конструкции путем изменения геометрических параметров конструкции и применения разных материалов для компонентов лонжерона [3].

**Методы исследования.** Для выполнения расчетов была применена система нелинейного конечно-элементного анализа LS-DYNA, созданная для моделирования динамических процессов.

Моделирование процесса деформирования лонжерона осуществлялось методом явного решения, так как малый шаг интегрирования дает преимущество при решении задач с нелинейным поведением материала и геометрией (контактные взаимодействия и трение), а также с большими перемещениями. При решении задачи соответственно с шагом времени геометрические данные обновляются. Важное значение имеет правильное определение шага времени. В конструкции силы распространяются со скоростью звука. Для конечного элемента типа 'Shell163' в упругом твердом материале скорость звука определяется выражением [4]

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $\rho$  - плотность материала;  $\nu$  - коэффициент Пуассона.

При длине  $l$  ребра конечного элемента критический шаг времени (критерий Куранта-Фридриха-Леви) определяется в виде

$$\Delta t_{\text{крит}} = \frac{l}{c} = l \sqrt{\frac{\rho(1-\nu^2)}{E}}. \quad (2)$$

В программном пакете LS-DYNA выбирается шаг времени

$$\Delta t = 0,9\Delta t_{\text{крит}} . \quad (3)$$

На рис. 1 приведено взаимное расположение лонжерона основания кузова и твердого тела, сталкивающегося с неподвижным лонжероном. Рассмотренный лонжерон состоит из трех составных частей, которые могут иметь разные толщины стенок и профили их поперечных сечений, а также изготовлены из материалов с различными пределами текучести. При столкновении твердое тело, имеющее форму цилиндрической поверхности, сталкивается с лонжероном в поперечном направлении.

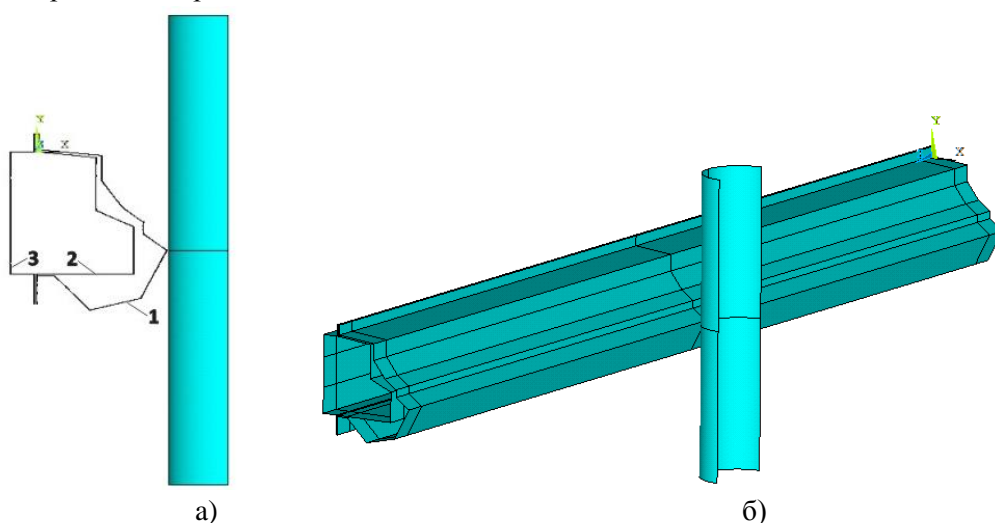


Рис. 1. Схема лонжерона основания кузова: а – поперечное сечение лонжерона; 1- внешний, 2- средний, 3- внутренний (со стороны пола) слои; б – общий вид лонжерона и тела столкновения

В разработанной программе вышеуказанные геометрические величины (размеры поперечного сечения, толщины составляющих частей) и параметры составных материалов могут задаваться различными.

В представленном примере использованы истинные размеры кузова автомобиля модели VW Polo 2010.

**Результаты исследования.** Рассмотрена задача бокового столкновения лонжерона основания кузова автомобиля с жестким цилиндрическим телом с различными начальными скоростями столкновения и с величинами их перемещений в поперечном направлении [5]. На рис. 2 приведены граничные условия задачи столкновения, а также швы соединения составных частей лонжерона. Две крайние стороны лонжерона неподвижны.

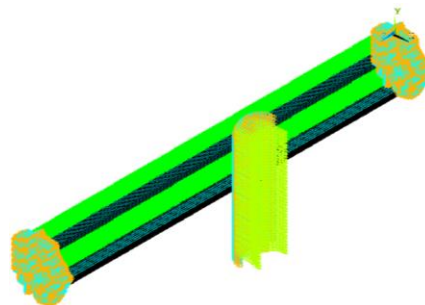


Рис. 2. Расчетная модель задачи столкновения

При деформации лонжерона, с целью предотвращения проникновения его составных частей друг в друга, в предложенной расчетной модели используются конечные элементы типа “Conta”, которые дают возможность применения изменяющихся граничных условий в точках возможного примыкания на поверхностях.

С целью сравнения результатов рассмотрена задача столкновения лонжерона с твердым телом для двух случаев:

- 1) все слои лонжерона (рис. 1а, слои 1, 2, 3) изготовлены из стали с одинаковым пределом текучести ( $\sigma_T=230$  МПа);
- 2) составные слои лонжерона изготовлены из стали с различными пределами текучести: внешний слой 1 -  $\sigma_T=230$  МПа, средний слой 2 -  $\sigma_T=1000$  МПа, внутренний слой 3 -  $\sigma_T=450$  МПа.

Для вышеуказанных обоих случаев начальная скорость сталкивающегося твердого тела составляет 29 км/ч [6], а перемещение в поперечном направлении – 100 мм.

На рис. 3 а и б приведены виды деформированного лонжерона после столкновения под различными углами зрения и распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) для первого случая столкновения.

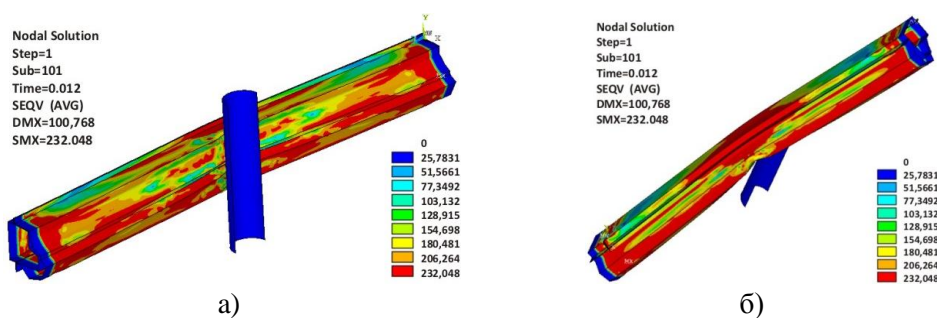


Рис. 3. Деформированные виды лонжерона основания кузова, приведенные под различными углами зрения (а, б) после столкновения, и распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) для первого случая столкновения

На рис. 4 а и б приведены виды деформированного лонжерона после столкновения под различными углами зрения и распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) для второго случая столкновения.

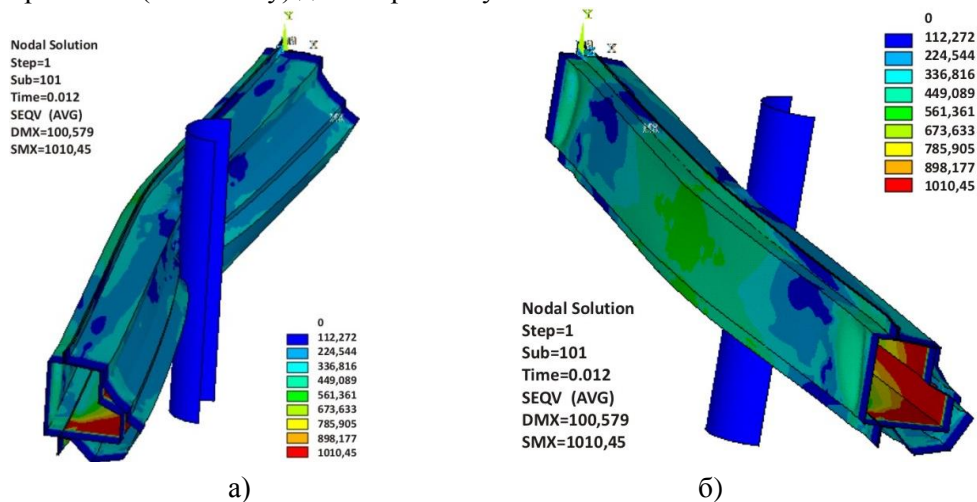


Рис. 4. Деформированные виды лонжерона основания кузова, приведенные под различными углами зрения (а, б) после столкновения, и распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) для второго случая столкновения

На рис. 5 а и б приведены графики распределения компонентов энергии в процессе столкновения при лонжероне со стальными слоями соответственно с одинаковыми и различными пределами текучести.

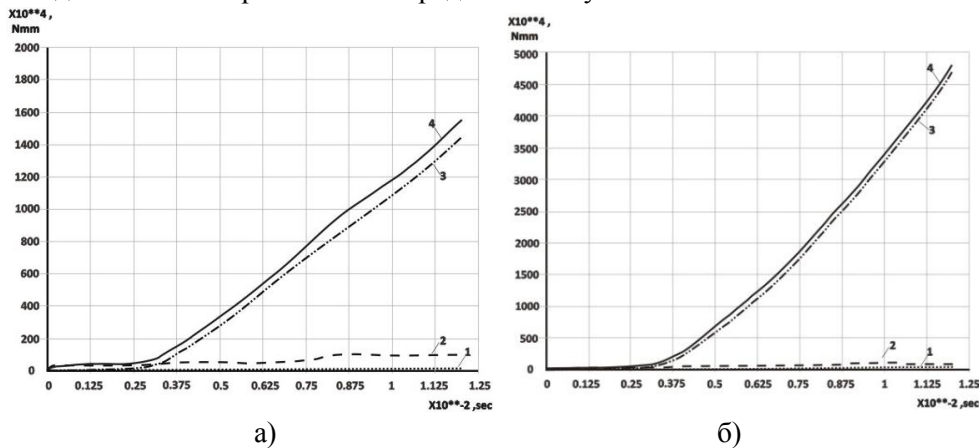


Рис. 5. Графики распределения компонентов энергии в процессе столкновения при лонжероне со стальными слоями: а – с одинаковыми пределами текучести; б – с различными пределами текучести; 1- 'Hourglass', 2 – кинематическая, 3 – внутренняя, 4 – общая энергия (Н•мм)

Графики распределения компонентов энергии при столкновении, приведенные на рис. 5, дают возможность провести сравнительную оценку израсходованной энергии.

**Выводы.** Разработана расчетная модель лонжерона основания кузова легкового автомобиля, посредством которой исследован процесс столкновения в поперечном направлении, определены распределения деформаций, напряжений и т.д. Полученные энергетические показатели позволяют оценить исходные параметры лонжерона при боковом столкновении. Расчетная модель дает возможность рассмотрения изменений конструктивных параметров и соответствующих выводов для улучшения энергоемкости конструкций, применяемых в кузовах легковых автомобилей.

#### Литература

1. **Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В., Соловьев Д.В., Власов В.А.** Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля: Монография / Под общей ред. С.М. Кудрявцева. – Н. Новгород, 2010. – 236 с.
2. **Шабан Б.А., Зузов В.Н.** Особенности моделирования каркасных элементов кузовов и кабин автомобилей при исследовании пассивной безопасности // Наука и образование. – М., 2012. – № 11. – С. 81-104.
3. **Мусаелян Г.В., Мусаелян В.Г.** Разработка расчетной модели нелинейного деформирования переднего лонжерона кузова автомобиля при лобовом столкновении // Научно-исследовательские публикации: Материалы научной конференции.- Н. Новгород, 2015.- С. 39-48.
4. **John O. Hallquist.** LS-DYNA Theory Manual / Livermore Software Technology Corporation.- Livermore, California 94551, March, 2006.- 498 p.
5. **Зузов И.В.** Моделирование продольного смятия передних лонжеронов кузова легкового автомобиля с учетом инициаторов деформаций // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – М., 2011. - № 1.- С. 34-37.
6. **Euro NCAP.** Available from internet. – 2002. <http://www.euroncap.com/>

*Поступила в редакцию 19.11.2015.  
Принята к опубликованию 15.12.2015.*

**ՄԱՐԴԱՏԱՐ ԱՎՏՈՄՈՒԲԻԼԻ ԹԱՓՔԻ ՀԻՄՔԻ ԼՈՆԺԵՐՈՆԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ  
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ ԿՈՂԱՅԻՆ ԲԱԽՄԱՆ  
ԴԵՊՔՈՒՄ**

**Ն.Ա. Բազիկյան, Վ.Գ. Մուսայելյան**

Վերջավոր տարրերի մեթոդով մշակվել է մարդատար ավտոմոբիլի թափքի հիմքի լոնժերոնի կողային բախման գործընթացի հաշվարկային մոդելը: Ներկայացված հաշվարկի մեթոդիկան հնարավորություն է տալիս հետազոտել բարդ լայնական հատույթի կառուցվածքով բարակապատ ձողի դեֆորմացման գործընթացը բախման տարբեր դեպքերում: LS-DYNA ծրագրային փաթեթում կիրառելով Shell 163 վերջավոր տարրերը՝ մշակվել է թափքի հատվածամասի ոչ գծային դեֆորմացման մոդելը, ինչը հնարավորություն է տալիս տեսնել կոնստրուկցիայի տեսքը բախումից հետո, որոշել լարումների և դեֆորմացումների բաշխումները բախման գործընթացի դեպքում: Ստացվել են էներգիայի բաղադրիչների բաշխումները դինամիկ բեռնավորման գործընթացի դեպքում, որով հնարավոր է գնահատել լոնժերոնի էներգատարությունն առաջադրված պարամետրերով բախման մոդելավորման դեպքում: Երկրաչափական պարամետրերի փոփոխմամբ և լոնժերոնի բաղադրիչների տարբեր նյութերի կիրառմամբ ապահովվում է կոնստրուկցիայի էներգատարության բարելավումը:

**Առանցքային բառեր.** ավտոմոբիլի թափք, վերջավոր տարրերի մեթոդ, հաշվարկային մոդել, երկայնական և լայնական ձողեր, կողային բախում:

**A CALCULATION METHOD FOR THE DEFORMATION PROCESS OF THE CAR  
BODY BOTTOM GIRDER IN THE SIDE IMPACT CRASH CASE**

**N.A. Bazikyan, V.G. Musayelyan**

A calculation model is developed by the finite element method for the side impact crash process of the bottom girder of the car body. The presented calculation method allows to investigate the deformation process of the complex cross sectional thin-walled beam in different cases of impact. A non-linear deformation model for the body section is developed by using Shell 163 finite elements in LS-DYNA, allowing to determine the deformed view of the structure after the impact, the distributions of stresses and strains in the impact process. The distributions of energy components in dynamic loading are obtained allowing to evaluate the energy content of the girder in modeling the impact with specified parameters. By changing the geometric parameters and using different materials for the girder's components, the structure's energy content is estimated.

**Keywords:** car body, finite element method, calculation model, longitudinal and transverse beams, side impact crash.