

УДК 629.113

DOI 10.18698/0536-1044-2016-6-50-61

# Методика повышения безопасности автомобилей за счет улучшения параметров кресел с пассивными и активными подголовниками

Д.Ю. Солопов<sup>1</sup>, В.Н. Зузов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 125438, Москва, Российская Федерация, ул. Автомоторная, д. 2

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

## The Method of Improving Automobile Safety due to Improved Parameters of Car Seats with Passive and Active Head Restraints

D.Y. Solopov<sup>1</sup>, V.N. Zuzov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Research and Development Automobile and Engine Institute NAMI, 125438, Moscow, Russian Federation, Avtomotornaya St., Bldg. 2

<sup>2</sup> BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

@ e-mail: zuzvalery@rambler.ru

**i** При ударе сзади по автомобилю водитель и пассажиры могут получить опасные травмы шейного отдела позвоночника и головы, в связи с чем разработана методика создания конструкций автомобильных кресел, отвечающих требованиям пассивной безопасности. На первом этапе методики предложены обоснованные подходы к моделированию кресла и его элементов для предварительного анализа на соответствие конструкции требованиям пассивной безопасности. Указано, как следует моделировать кресла, учитывая характеристики материала набивки, особенности конструкции каркаса и других его элементов; как обоснованно построить рациональные конечно-элементные модели подголовников и кресел, обеспечивающих заданную точность результатов. Второй этап методики используется, если кресло не удовлетворяет предъявляемым требованиям или необходимо снизить его массу. Предложены различные варианты доработки конструкции. Для повышения эффективности вносимых изменений оценена степень влияния конструкции кресла на точность результатов, а также определены границы варьирования параметров, влияющих на пассивную безопасность автомобиля, за счет выбора рациональных характеристик материала набивки и закона движения в конструкциях с активным подголовником. Показана эффективность конструкций активных подголовников с позиции обеспечения наилучшего уровня пассивной безопасности. Приведен пример применения методики для повышения безопасности автомобиля, подтверждающий возможность ее эффективного использования для создания конструкции кресел, отвечающих требованиям пассивной безопасности транспортных средств.

**Ключевые слова:** пассивная безопасность, краш-тест, автомобильное кресло, манекен, подголовник, конечно-элементная модель (КЭМ), LS-DYNA, Euro NCAP.

**i** In the event of a rear-end collision, the driver and passengers can sustain serious injuries of the cervical vertebrae and head. To mitigate the effects of the collision, the authors of this article propose a method of designing car seats that meet passive safety requirements. The first step of this method includes justified approaches to designing a car seat and its

elements for preliminary analysis of design compliance to passive safety requirements. It is shown how to take into consideration padding material characteristics and frame design, and how to build rational finite element models of the head restraints and seats that would guarantee the predefined accuracy of the results with the minimum time required to solve the problem. The second step of the method is used when the seat does not meet the predefined requirements or when its weight needs to be reduced. Various options for design modification are proposed. To increase the effectiveness of the introduced modifications, the effect of the actual seat on the result accuracy is evaluated. Parameter variation boundaries that affect passive safety of the vehicle are determined through the choice of rational characteristics of padding material and the law of motion for constructions with active head restraint. The effectiveness of active head restraint designs for ensuring the best possible passive safety is shown. The study results of the real vehicle have proven that the influence of the car body on safety should be taken into consideration with regards to car seats. The article presents an example of the method application for improving car safety, which confirms that it can be successfully used for designing car seats that meet passive safety requirements for vehicles.

**Keywords:** passive safety, crash test, car seat, dummy, head restraint, finite element method (FEM), LS-DYNA, Euro NCAP.

**Способы решения проблемы повышения пассивной безопасности (ПБ) автомобиля при ударе сзади.** При ударе по автомобилю сзади находящиеся в салоне люди рискуют получить травмы шейного отдела позвоночника и головы. Такие травмы трудно диагностировать и лечить, поэтому повышение ПБ автомобиля за счет повышения безопасности подголовников является важной проблемой.

При проектировании автомобильных кресел их испытания необходимо проводить с использованием условий и нагрузочных режимов, регламентируемых специальными методиками [1–5]. Если кресло не удовлетворяет предъявляемым требованиям, то в его конструкцию необходимо внести изменения.

Благодаря созданию конечно-элементных моделей (КЭМ) и их расчету с использованием современных программных комплексов можно существенно повысить эффективность процесса проектирования. Недостатком такого метода является сложность инженерной задачи, требующей высокой квалификации инженеров-расчетчиков, применения компьютеров большой мощности и значительного времени для расчета модели.

Одной из важных задач является разработка рациональных КЭМ автомобильных кресел (в том числе с активными подголовниками) с учетом особенностей конструкции, а также исследование их характеристик и поведения при ударе, проводимое в соответствии с существующими стандартами ПБ; оценка результатов расчета с позиций погрешностей и трудозатрат

на разработку и решение моделей с помощью программных комплексов ANSYS и LS-DYNA, реализующих метод конечных элементов [6–8].

Цель работы — изложение разработанной методики повышения ПБ автомобилей за счет совершенствования конструкций кресел на стадии проектирования и их доработки для соответствия требованиям отечественных и международных стандартов ПБ с использованием конечно-элементного анализа.

На основании статистических данных в России и за рубежом разработаны требования, регламентирующие ПБ транспортных средств. В настоящее время каждый вновь разрабатываемый автомобиль должен соответствовать стандартам ПБ, основными из которых являются Правила единой экономической комиссии (ЕЭК) при ООН (Правила ЕЭК ООН № 25, 80, 17) и Euro NCAP (европейский комитет проведения независимых краш-тестов автомобилей с оценкой активной и пассивной безопасности).

Например, эксперимент по оценке поглощения энергии (Правила ЕЭК ООН № 25) выполняется путем удара металлического маятника (диаметром 165 мм) массой 6,8 кг о подголовник с начальной скоростью 24,1 км/ч. Если ускорение на маятнике не превышает 80g в течение 3 мс, то подголовник соответствует предъявляемым требованиям ПБ. При проведении статических испытаний по оценке прочности кресла и его компонентов к подголовнику прикладывают усилие, создающее момент 373 Н·м относительно точки *H* (определяемой специальным механизмом), затем усилие уве-

личивают до 890 Н. Если отклонение спинки не превышает 120 мм, то подголовник соответствует предъявляемым требованиям ПБ.

Для оценки ПБ транспортных средств организация Euro NCAP проводит испытания автомобильных кресел с имитацией ударов: «легкого» (разгон до скорости  $v = 16$  км/ч с ускорением  $a = 5g$  в течение  $t = 100$  мс), «среднего» ( $v = 16$  км/ч,  $a = 10g$ ,  $t = 20$  мс) и «опасного» ( $v = 24$  км/ч,  $a = 14g$ ,  $t = 20$  мс). Зависимости ускорения и скорости кресла от времени при имитации «опасного» удара по автомобилю сзади приведены на рис. 1.

Согласно требованиям Euro NCAP, автомобильное кресло закрепляют на движущейся платформе (рис. 2) [2], которая разгоняется по рельсам, а затем ударяется о препятствие. В кресло помещен манекен BioRID II, специально предназначенный для проведения испытаний на удар сзади. Отличительной особенностью манекена BioRID II является детально смоделированное строение позвоночника чело-

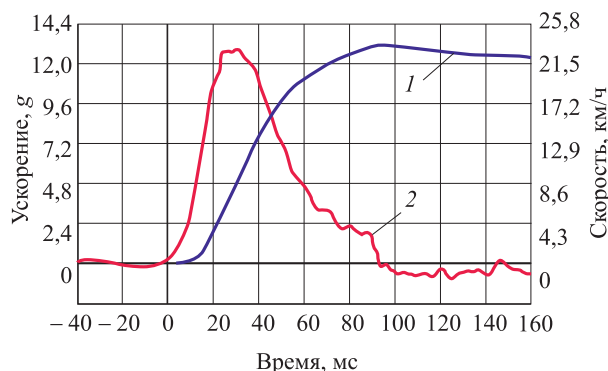


Рис. 1. Зависимости скорости (1) и ускорения (2) кресла от времени при имитации «опасного» удара по автомобилю сзади



Рис. 2. Испытания автомобильного кресла в соответствии с требованиями Euro NCAP

века. Полученные данные фиксируют датчики, размещенные в голове и позвоночнике манекена, а также высокоскоростные видеокамеры.

Если после испытаний кресло не соответствует предъявляемым требованиям, то проводят доработку его конструкции, включающую в себя выбор свойств материалов компонентов кресла, изменение конструкции каркаса кресла, количества и жесткости упругих элементов в спинке и сиденье, а также корректирование формы и свойств набивки мягких элементов кресла. Указанные испытания являются основой для назначения нагрузочных режимов при компьютерном моделировании.

Следует отметить, что применение активных подголовников обеспечивает существенное снижение нагрузок на голову и шею человека при ударе сзади. В связи с этим использование активных систем в конструкции шарниров подголовника и спинки кресла позволяет значительно повысить безопасность. При этом применяют три конструкции подголовника: шарнирно соединенный со спинкой; снабженный подушкой на упругом элементе, выдвигающейся навстречу голове при ударе; оснащенный подушкой, надувающейся за головой в момент удара.

**Методика создания конструкций автомобильных кресел, отвечающих требованиям ПБ.** Основные положения методики совершенствования конструкции автомобильного кресла при расчете ПБ на стадии проектирования показаны на схеме, приведенной на рис. 3.

Поскольку методика применима на стадии проектирования, появляется возможность доработки конструкции без существенных материальных затрат.

На первом этапе методики создают модель прототипа кресла и уточняют ее основные параметры: массу, геометрические размеры, соответствие свойств материалов, используемых в КЭМ свойствам реальных материалов и т. д. На основе предложенных рекомендаций моделируют элементы каркаса, набивку мягких компонентов кресла, шарниры, пружины и т. д. Далее создают имитационную КЭМ, включающую в себя кресло и компоненты испытательного стенда (манекен, ремень безопасности, металлический маятник и т. д.), и проводят предварительный расчет модели с исходными параметрами в соответствии с требованиями правил испытаний.

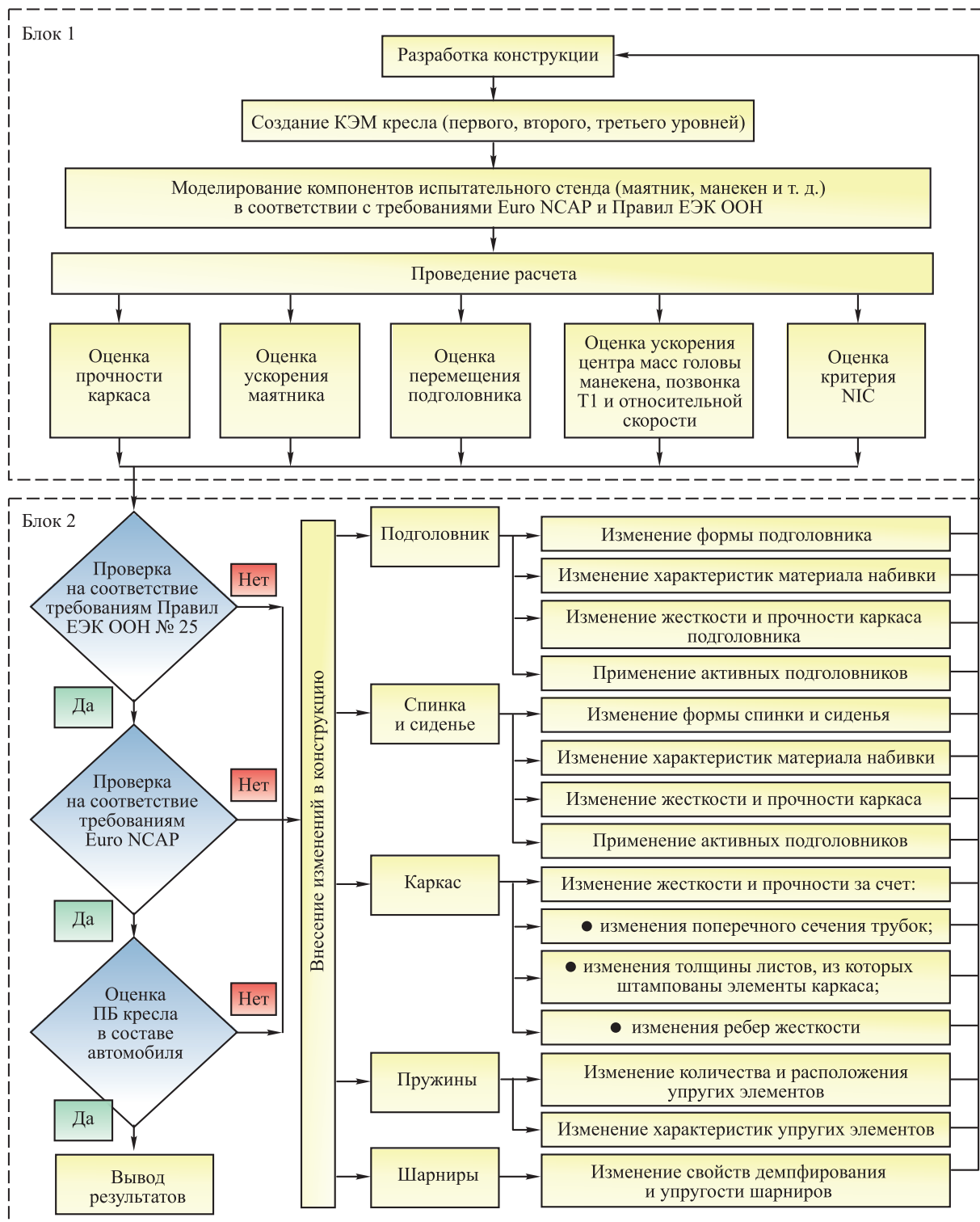


Рис. 3. Блок-схема методики создания автомобильного кресла, отвечающего требованиям ПБ

В целях получения более точных результатов и сокращения времени расчета модели на компьютере проводят оптимизацию разбиения модели на конечные элементы (КЭ).

По результатам проведенного расчета оценивают ускорения маятника и центра масс головы

манекена, перемещение подголовника, напряжения в набивке и каркасных элементах кресла, а также время расчета модели компьютером.

В случае удовлетворения требованиям и отсутствия необходимости доработки проводят расчет на базе КЭМ высшего уровня, в кото-

рой более детально смоделированы особенности конструкции. Если при расчете на нагружение результаты соответствуют требованиям Euro NCAP и Правилам ЕЭК ООН № 25, то необходимо продолжить теоретические исследования по оценке ПБ кресла уже в составе автомобиля. После завершения этих исследований создают реальное кресло и проводят натурные испытания, позволяющие оценить приемлемость конструктивных решений и точность расчетов.

Все вычисления проведены в программном комплексе LS-DYNA [6].

Разработанную блок-схему методики (см. рис. 3) можно условно разделить на два блока. В первом блоке предложены обоснованные подходы к созданию КЭМ и проведению на их базе расчета в соответствии с требованиями нормативных документов (Правила ЕЭК ООН № 17 и 25, Euro NCAP). Второй блок включает в себя проверку на соответствие предъявляемым требованиям и внесение изменений в разрабатываемую конструкцию в случае несоответствия требованиям. При этом предложены такие КЭМ, которые обеспечивают наибольшую точность результатов (для их обоснованного выбора использованы модели трех уровней). Это достигается за счет адекватного учета физических свойств компонентов кресла (жесткость/податливость каркаса с учетом нелинейности характеристик, упругие и демпфирующие свойства шарниров, пружин и т. д.), особенностей конструкции и геометрических параметров, а также за счет соответствующего разбиения объекта на КЭ. При этом созданы «точные» (третьего уровня) КЭМ, максимально учитывающие особенности конструкции и физические свойства их компонентов, и «грубые» (первого

и второго уровней) КЭМ, которые целесообразно использовать на первом этапе для предварительных и многовариантных расчетов (в них не учтены различные особенности конструкции, а также не заданы физические свойства компонентов). Достоинством «грубых» моделей является небольшое время для их расчета, что позволяет быстро получить предварительные результаты и оценить основные параметры конструкции, характеристики материалов, свойства шарниров и т. д.

Вначале проводили расчет подголовника (рис. 4), а затем — кресла с пассивным и активным подголовниками.

**Расчет подголовника в отдельности от кресла.** На этом этапе были созданы КЭМ подголовника трех уровней детализации (см. рис. 4) — низшего (НУ), среднего (СУ) и высшего (ВУ) — и проведен их расчет. При этом обоснован выбор свойств материалов для компонентов конструкции кресла (материалов набивки) [9, 10]; оценено влияние основных факторов (характеристики материала набивки, особенности конструкции каркаса и т. д.) на точность результатов, которую обеспечивает модель; обоснован выбор рациональных КЭМ подголовников.

При выборе свойств материалов набивки выполнены расчет и натурные испытания в режимах квазистатики (рис. 5) и динамики (см. рис. 4) для оценки точности, которую обеспечивают разработанные КЭМ [11].

По результатам квазистатического нагружения (см. рис. 5) подголовника определен характер изменения свойств материала набивки подголовника (рис. 6).

По результатам расчета в динамическом режиме нагружения (см. рис. 4) и натурных испы-

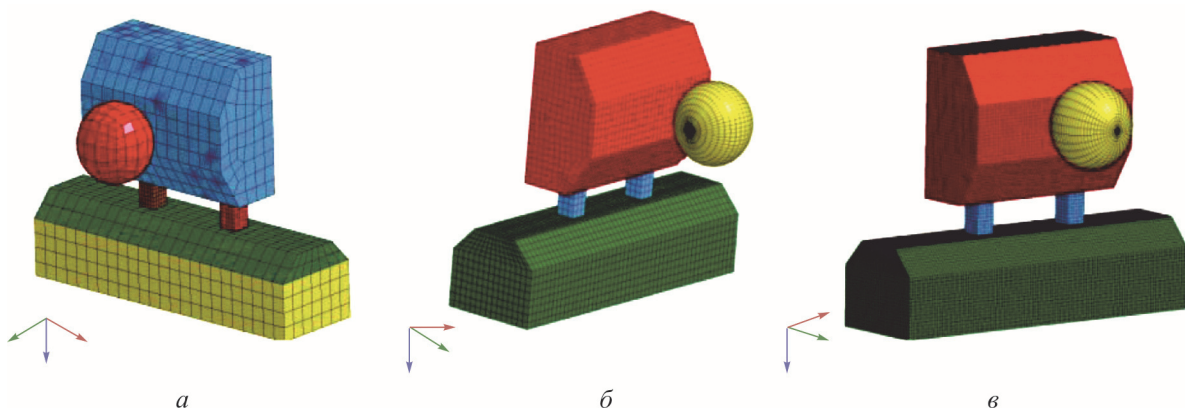


Рис. 4. КЭМ подголовника:  
а — НУ (6 628 КЭ); б — СУ (20 907 КЭ); в — ВУ (164 952 КЭ)

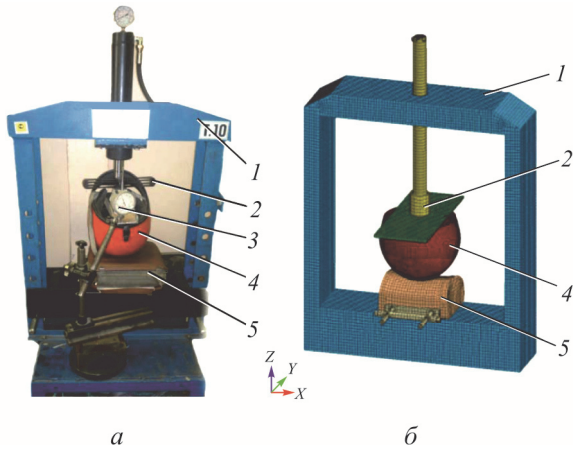


Рис. 5. Нагружение подголовника кресла автомобиля ВАЗ 2102 на испытательном стенде (а) и КЭМ подголовника (б):  
1 — пресс; 2 — динамометр; 3 — прогибомер; 4 — шлем; 5 — подголовник

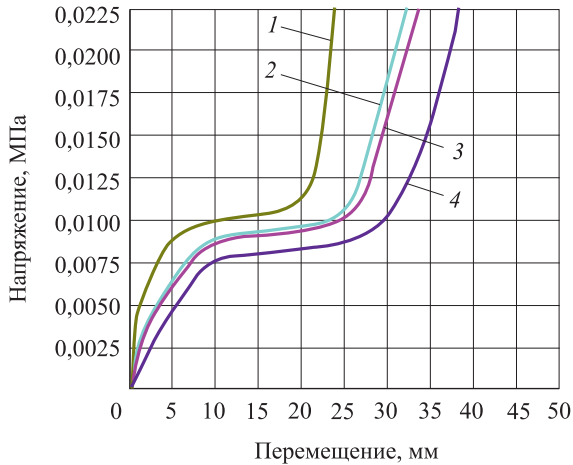


Рис. 6. Экспериментальная и расчетные зависимости напряжения от перемещения материала набивки подголовника:  
1 — LS-DYNA (CY); 2 — натурный эксперимент;  
3 — LS-DYNA (BU); 4 — LS-DYNA (HU)

таний (см. рис. 5) уточнены характеристики материала набивки кресла и подголовника (рис. 7 и 8).

Результаты расчета «грубой» модели первого уровня (6 628 КЭ) позволили установить, что наилучший уровень ПБ обеспечивается при задании следующих характеристик материала набивки: плотность  $\rho = 27 \text{ кг/м}^3$ , модуль Юнга  $E = 100...700 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона  $\mu = 0$ ; кривая зависимости напряжения от перемещения № 5, приведенная в работе [11].

Анализ результатов экспериментальных и расчетных исследований позволил сделать следующие выводы: свойства материалов подголовника следует моделировать в зависимо-

сти от скорости его нагружения; при оценке свойств материала набивки (квазистатический режим) модель ВУ (112 877 КЭ) позволяет получить решение с наименьшими погрешностями относительно результатов эксперимента (относительными погрешностями) — в среднем 15 % по ускорению и 20 % по перемещению; при оценке свойств материала набивки (квазистатический режим) для предварительных и многовариантных расчетов можно использовать модель СУ (87 876 КЭ, средняя относительная погрешность 10...15 %, по значениям трудозатрат на ее создание и решение задачи и по погрешностям результатов такие модели можно считать рациональными). Эти выводы следует учитывать при применении методики.

При оценке ускорений по результатам исследований в режиме удара установлено, что

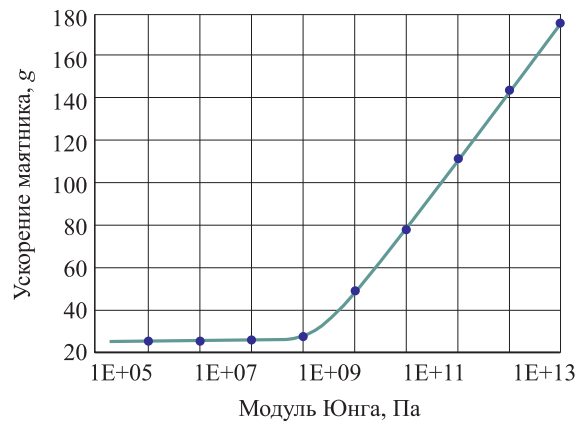


Рис. 7. Зависимость ускорения маятника от модуля Юнга

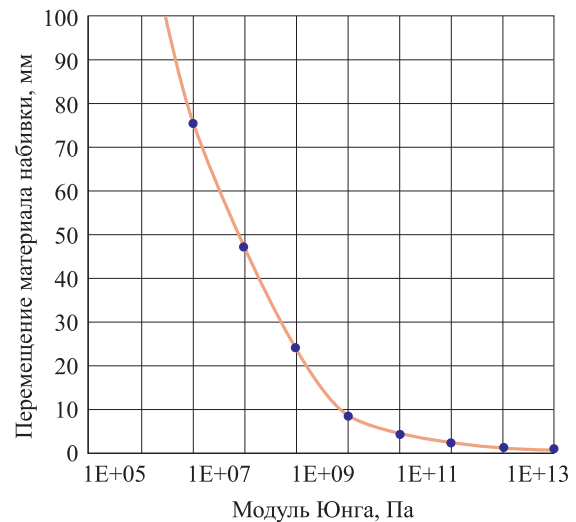


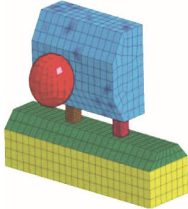
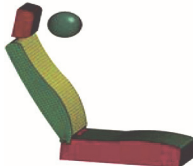
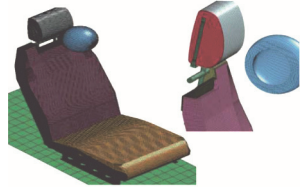
Рис. 8. Зависимость перемещения материала набивки от модуля Юнга

наибольшую точность (относительная погрешность 14 %) обеспечивает модель ВУ (164 952 КЭ), а при оценке перемещений — модель СУ (20 907 КЭ, относительная погрешность 15 %). При этом выявлено, что модель подголовника соответствует требованиям ПБ, поскольку ускорение в момент удара не превышает 80g. При расчете на базе модели первого уровня (6 628 КЭ) установлено, что свойства выбранного материала из библиотеки LS-DYNA наиболее соответствуют свойствам реального пеноматериала набивки подголовника кресла автомобиля при задании следующих характеристик:  $\rho = 27 \text{ кг/м}^3$ ,  $E = 100 \dots 700 \text{ МПа}$ ,  $\mu = 0$ , кривая зависимости напряжения от перемещения № 5 [11].

**Расчет кресла автомобиля с пассивным подголовником.** На этом этапе были созданы КЭМ кресла трех уровней детализации [12, 13] и проведен их расчет в соответствии с требованиями международных методик. При этом оценена степень влияния кресла на точность результатов; обоснован выбор типа элементов, используемых при построении базовых КЭМ,

Таблица 1

Оценка характеристик пеноматериала набивки, обеспечивающих наилучший уровень ПБ в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 25

Параметр	«Грубые» КЭМ		«Точные» КЭМ
	первого уровня	второго уровня	третьего уровня
			
Количество КЭ	НУ: 6 628; СУ: 20 907; ВУ: 164 952	НУ: 22 871; СУ: 83 436; ВУ: 879 699	НУ: 47 898; СУ: 112 877; ВУ: 1 744 104
<i>Особенности КЭМ</i>			
Степень учета особенностей конструкции и физических свойств компонентов КЭМ	Минимальная (моделирование только подголовника)	Средняя (моделирование кресла с подголовником без учета некоторых особенностей конструкции)	Максимальная
<i>Результаты расчета</i>			
Количество КЭ модели ВУ	164 952	879 699	1 744 104
Относительная погрешность ускорения/перемещения, %	15/20	12/15	10/11

отработаны основные подходы для решения быстротекущих нелинейных задач; обоснован выбор характеристик пеноматериала набивки, обеспечивающих наилучший уровень ПБ в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 25 (табл. 1) и Euro NCAP (табл. 2).


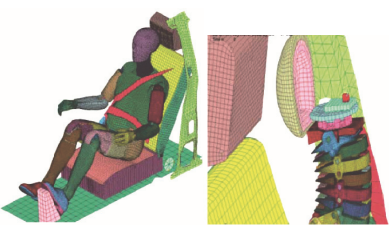
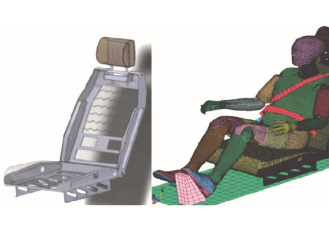
Как видно из табл. 1 наибольшую точность обеспечивают модели ВУ.

Анализ результатов компьютерного моделирования показал, что при использовании КЭМ кресла ВУ точность результатов увеличилась (относительная погрешность по ускорению составила 10 %, по перемещению — 11 %, а по сравнению с расчетом модели подголовника уменьшилась на 5 % по ускорению и на 9 % по перемещению). Это объясняется тем, что модель кресла более приближена к реальной конструкции, чем «грубая» модель подголовника.

**Расчет автомобильного кресла с активным подголовником.** Для исследования были разработаны КЭМ автомобильных кресел с тремя конструкциями активного подголовника (рис. 9): шарнирно соединенного со спинкой; снабженного подушкой на упругом элементе,

Таблица 2

**Оценка характеристик пеноматериала набивки, обеспечивающих наилучший уровень ПБ в соответствии с требованиями Euro NCAP**

Параметр	«Грубые» КЭМ		«Точные» КЭМ
	первого уровня	второго уровня	третьего уровня
			
Количество КЭ	200 515	467 936	1 255 358
<i>Особенности КЭМ</i>			
Степень учета особенностей конструкции	Минимальная	Средняя (моделирование кресла с подголовником без учета некоторых особенностей конструкции)	Максимальная
Модель манекена	Gebod (упрощенная модель)	BioRID II	BioRID II
<i>Результаты расчета</i>			
Относительная погрешность полного ускорения головы в режиме нагружения «легкий»/«средний»/опасный удар, %	-/59/44	33/22/26	17/12/15
Критерий NIC в режиме нагружения «легкий»/«средний»/опасный удар	-/-/-	29,354/32,155/34,276	27,146/27,980/38,457
<i>Примечание.</i> Критерий NIC (Neck Injury Criterion) — критерий травмирования шеи (не более 45).			

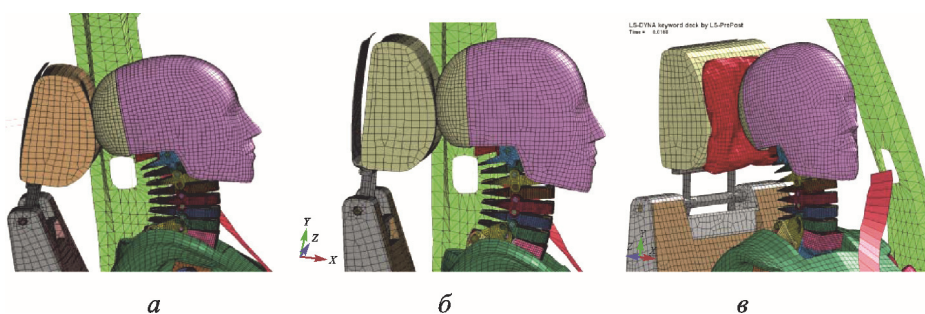


Рис. 9. КЭМ кресла с активным подголовником:

*а* — шарнирно соединенным со спинкой; *б* — снабженным подушкой на упругом элементе, выдвигающейся навстречу голове при ударе; *в* — оснащенной подушкой, надувающейся за головой в момент удара

выдвигающейся навстречу голове при ударе; оснащенного подушкой, надувающейся за головой в момент удара [14]. При этом был обосно-

ван выбор закона движения для конструкций с активным подголовником; оценена точность результатов расчета и эффективность кон-



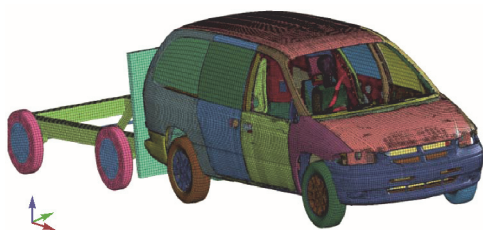


Рис. 10. КЭМ автомобиля, в котором установлено кресло с манекеном BioRID II

струкций активных подголовников; определена наиболее безопасная модель КЭМ кресла с активным подголовником, обеспечивающая наилучший уровень ПБ

Анализ результатов расчета позволил сделать следующие выводы. КЭМ только подголовника целесообразно использовать для предварительных расчетов при подборе характеристик набивки. При оценке по методикам ЕЭК ООН № 25 и Euro NCAP «грубые» КЭМ (первого и второго уровней) можно рассматривать как рациональные (с позиций погрешностей и трудозатрат на разработку и решение моделей), их следует использовать для предварительных и многовариантных расчетов. Модели третьего уровня обеспечивают наибольшую точность (12 %). Применение активных подголовников позволило существенно снизить значение критерия NIC: на 4 % (до 36,92) у модели с шарнирно наклоняющейся мягкой частью; на 24 % (до 29,23) у конструкции с выдвигающейся подушкой; на 31 % (до 26,15) у модели, оснащенной надувающейся подушкой (при этом обеспечено значительное снижение ускорения головы при ударе). Таким образом, наиболее безопасной моделью является КЭМ кресла с активным подголовником, снабженным надувающейся подушкой.

Указанные выше методы испытаний и расчета кресел по Правилам Euro NCAP и ЕЭК ООН не учитывают особенности конструкции автомобиля. При этом кресло, удовлетворяющее требованиям этих Правил, может быть установлено на любую модель автомобиля независимо от его технических характеристик и уровня ПБ.

Как показали предварительные исследования, расчет автомобиля с установленным на нем креслом позволяет более точно, по сравнению с расчетом кресла в отдельности, оценить уровень ПБ. Поэтому такой расчет включен в методику.

Расчетные режимы нагружения задавали в виде удара по стоящему автомобилю сзади дру-

гой машиной или специальной тележкой [6, 15]. При этом барьер массой 1 814 кг ударяет сзади стоящий на месте автомобиль со скоростью 48 км/ч (рис. 10).

Согласно методике, исследования следует проводить с учетом следующего. В КЭМ автомобиля «установлена» КЭМ автомобильного кресла, в котором зафиксирована модель манекена BioRID II. Манекен «пристегнут» ремнем безопасности, измерение ускорений осуществляется в его голове и на позвонке T1. Кузов автомобиля предложено моделировать с высокой детализацией, а узлы и агрегаты, находящиеся в его подкапотном пространстве, — упрощенно. К каркасу сиденья и спинки прикреплены пружины, на которые опираются набивки спинки и сиденья. Материалом набивки подголовника и мягких элементов кресла служит пеноматериал (MAT\_LOW\_DENSITY\_FOAM [6]), имеющий следующие параметры:  $\rho = 27 \text{ кг/м}^3$ ,  $\mu = 0$ ,  $E = 100 \text{ МПа}$ , кривая зависимости напряжения от перемещения № 5 [11]. На набивку надет чехол из текстильного материала (MAT\_FABRIC). Спинка кресла и сиденье соединены шарнирно (шарнирам заданы свойства упругости и демпфирования). Гистерезисные потери при трении в пенополиуретановом материале набивки кресла вследствие малости их влияния не учитываются.

По результатам расчета установлено, что различие значений критерия NIC для кресла в составе автомобиля (30,712) и только для кресла (третьего уровня сложности) в режиме нагружения «опасный» удар составило 20 %. Это свидетельствует о том, что конструкция машины существенно влияет на ПБ, которую обеспечивает кресло, и ее следует учитывать.

## Выводы

1. Разработанные рациональные КЭМ (первого и второго уровней) подголовника (отдельно от автомобильного кресла) позволяют получить приемлемые для практического применения относительные погрешности: по ускорению — 12 % при расчете модели второго уровня по ЕЭК ООН № 25; по перемещению — 15 % при расчете модели второго уровня по ЕЭК ООН № 25; по критерию NIC — 22 % при расчете модели второго уровня по Euro NCAP в режиме нагружения «средний удар»; время расчета по ЕЭК ООН № 25 составило 5 мин, по Euro NCAP — 23 ч 23 мин.

2. Разработанные КЭМ кресла с подголовником ВУ (третьего уровня) обеспечивают наибольшую точность результатов в соответствии с существующими стандартами ПБ. Получены следующие относительные погрешности: по ускорению — 10 % при расчете модели второго уровня по ЕЭК ООН № 25; по перемещению — 11 % при расчете модели второго уровня по ЕЭК ООН № 25; по критерию NIS — 12 % при расчете модели второго уровня по Euro NCAP в режиме «средний удар». Время

выполнения расчета по ЕЭК ООН № 25 составило 5 мин, по Euro NCAP — 27 ч 38 мин.

3. Применение активных подголовников позволило снизить критерий NIS: на 4 % у модели, шарнирно соединенной со спинкой, и на 24 % у конструкции с выдвигающейся подушкой.

4. Использование активного подголовника с подушкой, надувающейся за головой, обеспечивает наибольшее улучшение параметров ПБ: снижение критерия NIS на 31 %.

## Литература

- [1] ГОСТ Р 41.25–2001. *Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения подголовников вмонтированных или не вмонтированных в сиденья транспортных средств*. Москва, ИПК Издательство стандартов, 2002. 28 с.
- [2] *The dynamic assessment of car seats for neck injury protection. Testing protocol. European new car assessment programme* (Euro NCAP), 2009. 66 p.
- [3] ГОСТ Р 41.80–2001. *Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения сидений крупногабаритных пассажирских транспортных средств и официального утверждения этих транспортных средств в отношении прочности сидений и их креплений*. Москва, ИПК Издательство стандартов, 2002. 32 с.
- [4] *Технический регламент о безопасности транспортных средств* (в ред. Постановления Правительства РФ от 10.09.2010 № 706). Москва, ИПК Издательство стандартов, 2009. 150 с.
- [5] ГОСТ Р 41.17–2001. *Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении прочности сидений, их креплений и подголовников*. Москва, ИПК Издательство стандартов, 2002. 37 с.
- [6] Hallquist J. *LS-DYNA Keyword User's Manual*. USA, Livermore, Livermore Software Technology Corporation, 1993–2003. 2206 p.
- [7] Stahlshmidt S., Gromer A., Franz U. *Fat LS-DYNA BioRID II model*. Germany, Stuttgart, Livermore Software Technology Corporation, 2009. 69 p.
- [8] Рубцов Б.Г., ред. *ANSYS программа конечно-элементного анализа*. Москва, CAD-FEM GmbH, 1998. 66 с.
- [9] Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Решение проблемы создания конечно-элементных моделей для проектирования автомобильных кресел с активными подголовниками, отвечающими требованиям пассивной безопасности. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2013. № 6. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/574693.html> (дата обращения 15 февраля 2016).
- [10] Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Проблема создания конечно-элементных моделей автомобильных кресел с активными подголовниками, отвечающими требованиям пассивной безопасности. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2013, № 7. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/578993.html> (дата обращения 15 февраля 2016).
- [11] Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными подголовниками, отвечающих требованиям пассивной безопасности. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014. № 4. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/706991.html> (дата обращения 1 марта 2016).
- [12] Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными подголовниками с целью проведения исследований на соответствие требованиям Euro NCAP. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 8. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/724400.html> (дата обращения 1 марта 2016).
- [13] Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Использование активных подголовников с целью повышения безопасности автомобильных кресел при ударе сзади в соответствии с требованиями Euro NCAP. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 12. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/740048.html> (дата обращения 1 марта 2016).

- [14] Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Исследование влияния конструкции кузова автомобиля на пассивную безопасность при ударе сзади. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2015, № 7. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/780850.html> (дата обращения 1 марта 2016).
- [15] *Federal Motors Vehicle Safety Standard 301*. New York (USA), National Highway Traffic Safety Administration, 2003. 56 p.

## References

- [1] GOST R 41.25–2001. *Edinoobraznye predpisaniia, kasaiushchiesia ofitsial'nogo utverzhdeniia podgolovnikov vmontirovannykh ili ne vmontirovannykh v siden'ia transportnykh sredstv* [GOST R 41.25–2001. Uniform provisions concerning the approval of head restraint whether or not incorporated in vehicle seats]. Moscow, Standartinform publ., 2002. 28 s.
- [2] *The dynamic assessment of car seats for neck injury protection. Testing protocol. European new car assessment programme (Euro NCAP)*, 2009. 66 p.
- [3] GOST R 41.80–2001. *Edinoobraznye predpisaniia, kasaiushchiesia ofitsial'nogo utverzhdeniia sidenii krupnogabaritnykh passazhirskikh transportnykh sredstv i ofitsial'nogo utverzhdeniia etikh transportnykh sredstv v otnoshenii prochnosti sidenii i ikh kreplenii* [GOST R 41.80–2001. Uniform provisions concerning the approval of seats of large passenger vehicles and the approval of vehicles with regard to the strength of seats and their anchorages]. Moscow, Standartinform publ., 2002. 32 p.
- [4] *Tekhnicheskii reglament o bezopasnosti transportnykh sredstv* [Technical regulations on vehicle safety]. Moscow, Standartinform publ., 2009. 150 p.
- [5] GOST R 41.17–2001. *Edinoobraznye predpisaniia, kasaiushchiesia ofitsial'nogo utverzhdeniia transportnykh sredstv v otnoshenii prochnosti sidenii, ikh kreplenii i podgolovnikov* [GOST R 41.17–2001. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the strength of seats, their anchorages and head restraints]. Moscow, Standartinform publ., 2002. 37 p.
- [6] Hallquist J. *Ls-Dyna Keyword User's Manual*. USA, Livermore, Livermore Software Technology Corporation, 1993–2003. 2206 p.
- [7] Stahlshmidt S., Gromer A., Franz U. *Fat LS-DYNA BioRID II model*. Germany, Stuttgart, Livermore Software Technology Corporation, 2009. 69 p.
- [8] *ANSYS programma konechno-elementnogo analiza* [Program ANSYS finite element analysis]. Ed. Rubtsov B.G. Moscow, CAD-FEM GmbH, 1998. 66 p.
- [9] Solopov D.Iu., Zuzov V.N. Reshenie problemy sozdaniia konechno-elementnykh modelei dlia proektirovaniia avtomobil'nykh kresel s aktivnymi podgolovnikami, otvechaiushchimi trebovaniiam passivnoi bezopasnosti [Solving the problem of creation of finite element models for car seats with active head restraints designed to meet the requirements of passive safety]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2013, no 6. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/574693.html> (accessed 15 February 2016).
- [10] Solopov D.Iu., Zuzov V.N. Problema sozdaniia konechno-elementnykh modelei avtomobil'nykh kresel s aktivnymi podgolovnikami, otvechaiushchimi trebovaniiam passivnoi bezopasnosti [Problem of creating finite-element models of car seats with active head restraints to meet the requirements of passive safety]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2013, no. 7. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/578993.html> (accessed 15 February 2016).
- [11] Solopov D.Iu., Zuzov V.N. Razrabotka konechno-elementnykh modelei avtomobil'nykh kresel s passivnymi podgolovnikami, otvechaiushchikh trebovaniiam passivnoi bezopasnosti [Creating the Finite Element Models of Car Seats with Passive Head Restraints to Meet the Requirements of Passive Safety]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2014, no. 4. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/706991.html> (accessed 1 March 2016).
- [12] Solopov D.Iu., Zuzov V.N. Razrabotka konechno-elementnykh modelei avtomobil'nykh kresel s passivnymi podgolovnikami s tsel'iu provedeniia issledovaniia na sootvetstvie trebovaniiam Euro NCAP [Finite Element Models Development of Car Seats With Passive Head

- Restraints to Study Their Meeting Requirements for Euro NCAP]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2014, no. 8. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/724400.html> (accessed 1 March 2016).
- [13] Solopov D.Iu., Zuzov V.N. Ispol'zovanie aktivnykh podgolovnikov s tsel'iu povysheniia bezopasnosti avtomobil'nykh kresel pri udare szadi v sootvetstvii s trebovaniiami Euro NCAP [Active Head Restraints Used to Improve the Car Seats Safety in a Rear Impact Situation, in Accordance with the Requirements of Euro NCAP]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2014, no. 12. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/740048.html> (accessed 1 March 2016).
- [14] Solopov D.Iu., Zuzov V.N. Issledovanie vliianiia konstruktsii kuzova avtomobilia na passivnuiu bezopasnost' pri udare szadi [Investigating Car Body Construction Influence on the Passive Safety in a Rear Impact]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2015, no. 7. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/780850.html> (accessed 1 March 2016).
- [15] *Federal Motors Vehicle Safety Standard 301*. New York (USA), National Highway Traffic Safety Administration, 2003. 56 p.

Статья поступила в редакцию 25.03.2016

## Информация об авторах

**СОЛОПОВ Дмитрий Юрьевич** (Москва) — кандидат технических наук, ведущий конструктор отдела Кузовов. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» (125438, Москва, Российская Федерация, ул. Автомоторная, д. 2).

**ЗУЗОВ Валерий Николаевич** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные машины». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [zuzvalery@rambler.ru](mailto:zuzvalery@rambler.ru)).

## Information about the authors

**SOLOPOV Dmitriy Yurievich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Leading Designer, Vehicle Body Department, State Research and Development Automobile and Engine Intitute NAMI (125438, Moscow, Russian Federation, Avtomotornaya St., Bldg. 2).

**ZYZOV Valeriy Nikolaevich** (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Deparement of Wheel Vehicles. (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [zuzvalery@rambler.ru](mailto:zuzvalery@rambler.ru)).