

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ ЧАСТИ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ ПРИ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Зыков С.Н.

Удмуртский государственный университет, Ижевск

Ключевые слова: силовая несущая конструкция автомобиля, деформация переднего лонжерона, цифровая модель передней боковой части кузова, сравнительный численный прочностной анализ, моделирование деформационного поведения, пассивная безопасность кузова.

Аннотация. Современный автомобиль представляет собой сложную пространственную материальную систему, проектирование которой сопряжено с выполнением целого комплекса требований конструкторского, технологического и эксплуатационного плана. Это относится и к мерам обеспечения пассивной безопасности водителя и пассажиров. Виртуальный мир цифровых моделей, который в состоянии имитировать поведение реальных физических объектов при воздействии различного рода нагрузок, существенно расширил возможности инженеров-проектировщиков, позволяя проводить многократные численные эксперименты, оперативно меняя набор входных данных для расчета и сравнивая полученные результаты. В представленной статье описывается практика применения компьютерного инженерного анализа в ходе проектных работ по модификации конструкции передней части кузова автомобиля с целью увеличения ее демпфирующих свойств при внешнем силовом деформационном воздействии. Сравнительный анализ результатов расчетов исходного и модифицированного варианта конструкции, полученных при одинаковых граничных условиях и схемах силового воздействия, показал эффективность предлагаемых конструктивных изменений: происходит локальное перераспределение зон интенсивной деформации по направлению удаления от области пассажирского салона, при значительном снижении деформаций геометрии примыкающих к нему элементов конструкции кузова.

ENGINEERING ANALYSIS OF THE DEFORMATION BEHAVIOR OF THE STRUCTURE OF THE FRONT PART OF THE CAR BODY UNDER FORCE

Zykov S.N.

Udmurt State University, Izhevsk

Keywords: car load-bearing structure, front side member deformation, digital model of the front side part of the body, comparative numerical strength analysis, modeling of deformation behavior, passive safety of the body.

Abstract. A modern car is a complex spatial material system, the design of which is associated with the fulfillment of a whole range of requirements of the design, technological and operational plan. This also applies to measures to ensure the passive safety of the driver and passengers. The virtual world of digital models, which is able to simulate the behavior of real physical objects under the influence of various kinds of loads, has significantly expanded the capabilities of design engineers, allowing multiple numerical experiments to be carried out by quickly changing the set of input data for calculation and comparing the results obtained. The presented article describes the practice of using computer engineering analysis in the course of design work to modify the design of the front part of the car body in order to increase its damping properties under external force deformation effects. A comparative analysis of the results of calculations of the initial and modified design options obtained under the same boundary conditions and power action schemes showed the effectiveness of the proposed design changes: there is a local redistribution of intensive deformation zones in the direction away from the passenger compartment area, with a significant decrease in the geometry deformations of the adjacent body structural elements.

Введение

Одной из характеристик современных транспортных средств является высокая скорость передвижения. Поэтому, на заре своего появления, автомобили, способные двигаться чуть быстрее повозки на конной тяге, имели функциональные и эстетические особенности близкие к этим движущимся объектам. Инженерный расчет такой конструкции, с позиции сегодняшнего дня, был относительно прост, а меры по обеспечению пассивной безопасности водителя и пассажира имели явный и крайне утилитарный характер. На современном этапе развития техники и инженерной мысли перед конструктором ставятся несоизмеримо более

комплексные задачи, сопряженные со множеством проектных требований, обусловленных большим количеством ограничений технологического, нормативного и, зачастую, экономического плана, требующие поиска и определения оптимальных параметров проектирования [1, 2].

При множестве вариантов выбора конструктивных характеристик проектировщику транспортного средства необходимо найти сбалансированные конструкторские решения. Активное использование вычислительной техники и современного программного обеспечения с возможностью применять такие цифровые продукты, как электронные геометрические модели в значительной мере упрощает эту работу. Но само наличие цифровых технологий не определяет факт эффективности их использования. Нужны структурированные приемы и методы адаптации этих компьютерных виртуальных возможностей к различным проектным задачам [3-5]. Организация численного инженерного анализа деформационных процессов, возникающих в конструкции при статических и кратковременных ударных силовых воздействиях, является одной из таких задач, что определяет актуальность практических исследований в данном направлении.

Объекты и результаты исследований

У наземных транспортных средств имеется набор элементов, который в комплексе можно позиционировать, как силовую несущую конструкцию. Для мотоциклов, квадрициклов, грузовых машин, она имеет вполне ясные пространственные очертания, видимые со стороны, и охватывающие почти все габаритные размеры. Пример такого типа конструкции, предназначенной для унифицированной машины технологического электротранспорта (УМТЭТ), приводится на рисунке 1. Составляющие части такой конструкции, как правило, изготавливаются из стального прокатного профиля различной формы и длины, которые скрепляются между собой при помощи сварки, либо других видов соединений. Основная задача несущей конструкции – выдерживать при эксплуатации квазистатические вертикальные нагрузки от перевозимого груза значительной массы. Относительно небольшие скорости передвижения транспортных машин и массивность силовой рамы подобного типа во многом нивелируют необходимость (при проектировании) решения сложных задач по изучению деформационного поведения и демпфирующего эффекта конструкции, которые имеют место быть при кратковременном ударном воздействии (аварийных столкновениях). Результаты проведения численных исследований отклика конструкции на рабочие статические нагрузки [6, 9] бывает достаточно для принципиальной оценки работоспособности конструкции.

В отношении легковых автомобилей задача проектирования необходимого демпфирующего эффекта конструкции при столкновениях стоит на приоритетных позициях, наряду с проблематикой обеспечения заданных прочностных характеристик составляющих деталей и узлов автомобиля при его штатной рабочей эксплуатации. У большинства моделей легковых автомобилей силовой несущий компонент кузова образуется за счет сложной пространственной геометрии, образованной сочетанием отдельных деталей (элементов), изготовленных методом листовой штамповки (образцы автомобилей, где роль несущей конструкции играет, как и у грузовиков, силовая рама в данной работе не рассматривается). Для примера на рисунке 2 представлена боковая передняя часть кузова, состоящая из сваренных между собой: лонжерона, брызговика, верхнего бруса брызговика и стакана для крепления передней стойки.

В этой области автомобиля размещены узлы крепления трансмиссии, элементы рулевого управления, двигатель и т.д. Поэтому кузовные детали, расположенные здесь, должны обеспечивать значительную вертикальную прочность. Например, массивный лонжеронный короб (1), изготовленный из листовой стали толщиной 1,5 мм, как раз и предназначен для восприятия больших, в основном вертикальных, рабочих нагрузок. Также при монтаже навесного оборудования к нему дополнительно крепится ряд деталей, придающие передней части кузова еще большую общую прочность.

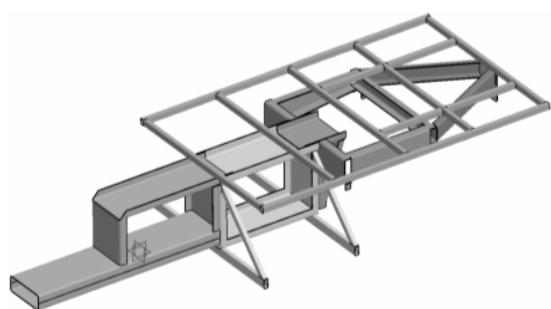


Рис. 1. Лонжеронно-хребтовая несущая конструкция для УМТЭТ

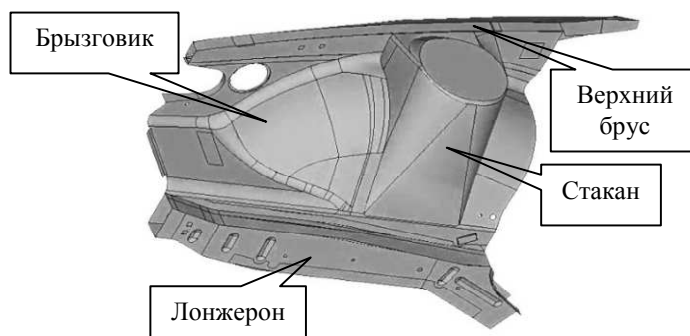


Рис. 2. Боковая передняя часть кузова легкового автомобиля

Однако, перед проектировщиками наряду с обеспечением необходимых рабочих прочностных характеристик, обычно стоит не менее значимая, и в какой-то степени «обратная» задача – местное снижение показателей прочности вдоль вектора возможного внезапного ударного воздействия для моделирования желаемого демпфирующего эффекта элементов конструкции с целью уменьшения величины ускорения замедления, отрицательно влияющего на здоровье человека. Более того, зоны с локальным понижением прочности должны конструктивно быть выполнены так, чтобы проектировать желаемую форму и динамику деформационных процессов, для того чтобы жизненное пространство людей, находящихся в машине, не претерпевало значительных деформаций.

Для решения подобных достаточно сложных задач в настоящее время является наиболее привлекательным и необходимым использование численных методов инженерного анализа. Рассмотрим одну из работ в этом направлении, выполненную на Ижевском автомобильном заводе, по модификации конструкции переднего лонжерона автомобиля с целью повышения его демпфирующих свойств при воздействии фронтальной нагрузки. При этом было проведено сравнительное численное исследование исходного и модифицированного вариантов этого кузовного элемента: проведение сравнительного анализа является общепринятой практикой при проектировании транспортных средств [10].

Численные методы инженерного анализа позволяют исследовать замкнутую систему конечных элементов, которая моделирует пространственную геометрию кузовных деталей. При подготовке решения описываемой задачи было проведено электронное геометрическое моделирование деталей передней области кузова с последующей генерацией единой расчетной конечно-элементной сетки. В качестве начальных условий учитывался факт различной толщины листового металла у разных деталей (брызговик и стакан – 0,9 мм; детали, формирующие замкнутый короб лонжерона – 1,5 мм). Были наложены граничные условия, которые, в частности, предполагали ряд допущений: неподвижность узлов расчетной сетки, имитирующих примыкание к салону; строго направленное перемещение узлов сетки фронтальной области, что создавало эффект контакта с движущим препятствием. Также, в качестве формы оценки результатов для определения эффективности предлагаемых модификаций конструкции лонжерона, было решено ограничиться сравнительным визуальным анализом динамики распространения деформации на цифровых моделях, относящихся к исходному и модифицированному вариантам, конечно-элементные модели которых представлены на рисунке 3.

Различия в конструкции лонжеронов состояли в количестве, форме и расположении подштамповок, которые при силовом воздействии должны провоцировать/препятствовать распространению деформаций в направлении ударного воздействия.

В исходном варианте имелись: 3 вертикальные подштамповки во фронтальной части, а также одна вертикальная и одна наклонная – в салонной части (рис. 3).

В модифицированном варианте (рис. 3) было увеличено количество подштамповок фронтальной части (до 4 штук) с их выводом на верхнее ребро лонжерона (для повышения деформационной податливости этой области). Также в салонной части была исключена

вертикальная и увеличена наклонная подштамповки (для снижения деформационной податливости области, примыкающей к пассажирскому салону).

На рисунке 3 также представлены результирующие картины деформационных процессов для каждого варианта конструкции лонжерона, полученные при одинаковых начальных и граничных условиях.

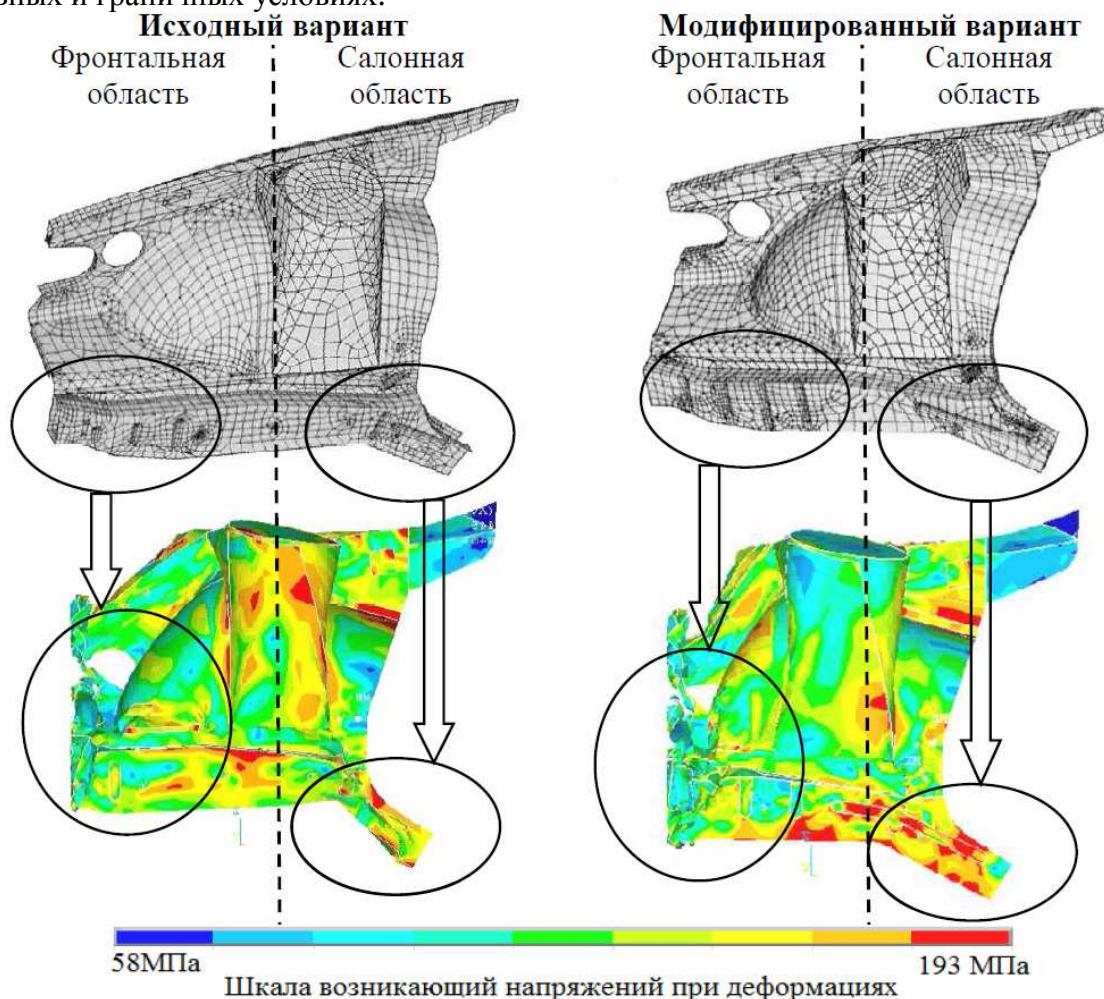


Рис. 3. Картина деформации и возникающих напряжений, исходный и модифицированный варианты

По результатам сравнительного инженерного анализа (рис. 3) представляется очевидным, что проведенные конструктивные изменения улучшили демпфирующие свойства передней части кузова. Область лонжерона, примыкающая к салонной части практически перестала деформироваться, сохраняя исходную геометрию салона. В то время как во фронтальной части деформационные процессы стали более глубокими.

Выводы

Сложность проектирования передней части легкового автомобиля, в частности, заключается в необходимости обеспечения анизотропности прочностных свойств конструкции в различных направлениях силового воздействия. При этом ее высокая прочность при рабочей эксплуатации должна сочетаться со способностью к управляемой деформации во время внешнего силового воздействия в случае аварий (во время которых должно происходить поглощение конструкцией энергии удара). Практика использования цифровых технологий инженерного анализа (с получением сравнительной картины деформационных процессов различных вариантов лонжерона) показывает высокую эффективность ее применения в проектной деятельности.

Список литературы

1. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.

2. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
3. Вахрушев А.В., Зыков С.Н. Математическое моделирование кузова автомобиля как полиматериальной многокомпонентной структуры // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2010. – № 2-1. – С. 208-216.
4. Зыков С.Н. Статический анализ напряженного состояния силового каркаса автомобиля // Сборник научных трудов аспирантов и преподавателей. Ижевск-Екатеринбург. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2003. – С. 113-116.
5. Далида Н.В., Филькин Н.М., Скуба Д.В. Методические аспекты создания рам маломощных транспортных средств (квадроциклов) на основе трубчатых профилей // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2023. – № 1. – С. 49-58.
6. Далида Н.В., Филькин Н.М., Скуба Д.В., Зыков С.Н. Численный анализ несущей системы проектируемого квадроцикла // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сборник научных трудов по материалам 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции. – М: МАДИ, 2024. – С. 241-247.
7. Зыков С.Н., Музафаров Э.Р., Филькин Н.М. Исследования виртуального макета унифицированной машины технологического электротранспорта по частным критериям прочностных свойств // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 23. – С. 102-106. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-23-102-106.
8. Коршунов А.И., Музафаров Р.С., Плетнев М.А., Скуба Д.В., Филькин Н.М. Системные подходы в конструировании и дизайн-проектировании унифицированной машины технологического электротранспорта (УМТЭТ) // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 2(29). – С. 40-47.
9. Патент №102998 РФ. Унифицированная платформа наземного электротранспорта / Н.М. Филькин, Р.С. Музафаров, А.Ф. Мкртчян, М.Р. Габдуллин, Д.В. Скуба, А.А. Заварзин, П.Ю. Каданин, В.В. Новокрещенов, Д.В. Крутиков. – Заявка №2016502874 от 25.07.2016; опубл. 13.04.2017.
10. Игнатьев А.Н., Скуба Д.В., Ившин К.С. Изменение геометрических моделей деталей легкового автомобиля с применением САД-систем для их последующего прочностного расчета // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2004. – №2. – С. 35-36.

References

1. Batishchev D.I. Methods of optimal design. – M.: Radio and communications, 1984. – 248 p.
2. Sobol I.M., Statnikov R.B. Selection of optimal parameters in problems with many criteria. – M.: Science, 1981. – 110 p.
3. Vakhrushev A.V., Zykov S.N. Mathematical modeling of the car body as a polymaterial multicomponent structure // News of TulSU. Technical sciences: scientific journal. 2010, no. 2-1. – P. 208-216.
4. Zykov S.N. Static analysis of the stressed state of the power frame of the car // Collection of scientific works of graduate students and teachers. Izhevsk-Yekaterinburg. – Yekaterinburg: Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003. – P. 113-116.
5. Dalida N.V., Filkin N.M., Skuba D.V. Methodological aspects of creating frames of low-power vehicles (ATVs) based on tubular profiles // Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University. 2023, no. 1, pp. 49-58.
6. Dalida N.V., Filkin N.M., Skuba D.V., Zykov S.N. Numerical analysis of the carrier system of the designed ATV // Actual issues of technical operation and car service of road transport rolling stock: a collection of scientific papers based on the materials of the 82nd scientific and methodological and research conference. – M: MADI, 2024. – P. 241-247.
7. Zykov S.N., Muzafarov E.R., Filkin N.M. Studies of the virtual layout of a unified technological electric transport machine according to particular criteria of strength properties // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 23, pp. 102-106. doi.org/10.26160/2658-3305-2023-23-102-106.
8. Korshunov A.I., Muzafarov R.S., Pletnev M.A., Skuba D.V., Filkin N.M. System approaches in the design and engineering of a unified technological electric transport machine (UMTET) // Intelligent systems in production. 2016, no. 2(29), pp. 40-47.
9. Patent No. 102998 RU. Unified platform of ground electric transport / N.M. Filkin, R.S. Muzafarov, A.F. Mkrtychyan, M.R. Gabdullin, D.V. Skuba, A.A. Zavarzin, P.Yu. Kadanin, V.V. Novokreshchenov, D.V. Krutikov. – Appl. No. 2016502874 from 25.07.2016; publ. 13.04.2017.
10. Ignatiev A.N., Skuba D.V., Ivshin K.S. Changing the geometric models of passenger car parts using CAD systems for their subsequent strength calculation // Bulletin of Izhevsk State Technical University. 2004, no. 2, pp. 35-36.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Зыков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры дизайна	Zykov Sergey Nikolayevich – candidate of technical sciences, professor, professor of design Department
zikov.sergei@yandex.ru	

Получена 10.11.2024