

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Логинова Евгения Михайловича по теме «Разработка комплексного метода расчетной оценки прочности и надежности колес автотранспортных средств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 — Колёсные и гусеничные машины

1. Актуальность темы

К прочности автомобильных колёс предъявляются особые требования из-за высоких нагрузок в эксплуатации и возможных серьезных последствий в случае разрушения колеса. От выполнения этих требований напрямую зависит безопасность водителя и пассажиров транспортного средства. Многообразие режимов нагружения, разброс механических характеристик колёс, обусловленный технологиями изготовления, особенностями конструкций, свойствами материалов, затрудняют точную оценку квазистатической прочности, прочности при динамических воздействиях и, в особенности, усталостной прочности. Существующие возможности изготовления, а также потенциал современных компьютерных методов проектирования позволяют значительно усложнить дизайн колеса, делая внешний вид колеса одним из главных конкурентных факторов на рынке. Новые дизайнерские решения, активно применяющие сложные геометрические формы, создают дополнительные трудности при выполнении прочностного анализа. На этапе проектирования для исследования напряженно-деформированного состояния уже не достаточно привлечения аналитических или численных процедур, использующих теорию оболочек. Требуется вся мощь современного вычислительного аппарата, базирующегося на методе конечных элементов в трехмерной постановке. Возникает серьезная проблема (не имеющая на сегодняшний день универсального, полностью автоматизированного решения) подготовки эффективных объемных конечно-элементных моделей (оптимальных по качеству и количеству элементов). Следствием является открытый вопрос адекватности этих моделей. В связи с этим назрела необходимость более тесного включения возможностей экспериментальных подходов обеспечения прочности в расчетные практики и разработки на данной основе экспериментально подтвержденных комплексных методов расчетной оценки прочности колес, позволяющих создавать верифицированные модели для поиска рациональной конструкции колеса среди множества возможных вариантов. Внедрение подобных комплексных методов в процесс проектирования должно способствовать разрешению противоречий, стоящих перед конструктором колёсных машин, - противоречий между требованиями

минимальной металлоемкости, прочности, дизайна и др. Эта сложная научно-техническая задача продолжает оставаться нерешенной до конца. Рассматриваемая диссертация посвящена данной проблематике. Поэтому тема диссертации является актуальной.

2. Обоснованность, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Итоги исследований автора сформулированы в основных результатах и выводах по работе, содержащих 7 отдельных пунктов, а также в расчетных методиках, изложенных в главах 2, 3, 4 диссертации.

Так, вывод 1 о том, что *«Разработан комплексный метод расчетного анализа НДС различных типов колес ТС при стандартных нормативных нагрузках с использованием современного аппарата численного анализа МКЭ и современных программных комплексов с оценкой результатов на основе экспериментальных данных, включающий последовательные методики создания расчетных схем и КЭ-моделей, методики расчета НДС и усталостной прочности при циклическом нагружении и методику расчета НДС при ударном нагружении колеса. Разработанный метод применим к анализу прочности различных типов колес ТС, т.к. позволяет учесть основные особенности конструкций: любую, в том числе, сложную геометрию и технологию для сборных конструкций колес»*, подтвержден: изложением методик расчетного исследования (объединенных в разработанный комплексный метод) напряженно-деформированного состояния (НДС) автомобильных колес в режимах нагружения, соответствующих статическим, ударным и усталостным испытаниям на стендах; описанием и фотографиями стендов для проведения испытаний автомобильных колес при статическом, ударном и циклическом нагружении; описанием расчетных схем, конечно-элементных моделей, результатов расчетов колес в режимах нагружения, соответствующих условиям проведения испытаний; приемлемой согласованностью расчетных и экспериментальных результатов исследования НДС металлоконструкции колес в рассмотренных режимах.

Вывод 2 о том, что *«Сформулирован единый общий подход к составлению КЭ - расчетных схем (моделей) колес, причем впервые показана необходимость учета контактирующих с колесом элементов испытательных стендов, влияющих на общую жесткость, а также элементов, непосредственно передающих нагрузку. Даны рекомендации по расчетным схемам для анализа усталостной прочности колес и оценки НДС колеса в условиях ударного нагружения»*, базируется на: подробном описании особенностей разработанных конечно-элементных моделей колёс, применительно к задачам квазистатического нагружения, нагружения в условиях проведения испытаний на усталость и на удар; детальном изложении последовательности построения моделей колес сложных геометрических форм; обосновании выбора размеров конечных элементов; рекомендациях применения определенных типов конечных элементов для составляющих частей моделируемой конструкции; описании схем приложения нагрузок, учета закреплений, особенностей моделирования болтовых соединений, сварных швов, контактного взаимодействия между

сопряженными частями конструкции. Изложенные правила и рекомендации объединены в общем подходе к составлению конечно-элементных расчетных схем и подтверждены результатами расчетного анализа и сопоставлением этих результатов с результатами испытаний.

Вывод 3 о том, что *«При создании КЭ-расчетной схемы колеса, предназначенной для исследования НДС при ударе, сформулированы критерии качества КЭ-массива, оказывающие влияние на работоспособность результирующей модели и даны рекомендации по составлению моделей. Разработана и рекомендована упорядоченная методика планирования дискретизации КЭ массива, позволяющая сократить трудозатраты на создание расчетной схемы»*, основан на практическом опыте использования вычислительных программ для исследования быстропротекающих ударных процессов в металлоконструкциях автомобильных колес, моделируемых (в основном) объемными конечными элементами. Рекомендации по составлению моделей, изложенные автором в своей работе и названные им *«критериями качества КЭ-массива»*, во-первых, следуют из теории изопараметрических конечных элементов, во-вторых, подтверждаются эмпирически расчетной практикой и служат для обеспечения устойчивости примененных в данных программах явных схем численного интегрирования по времени дифференциальных уравнений динамического равновесия.

Вывод 4 о том, что *«Для оценки усталостной прочности колес разработана методика расчета, основанная на определении НДС в колесе при квазистатическом нагружении в условиях испытательного стенда при нормативных испытаниях при изгибе с вращением и использовании экспериментальных данных по выносливости материала; разработана методика учета вариантов сборки конструкции для выбора оптимальной технологии для колес сборной конструкции»*, подтвержден описанием методики расчета квазистатического нагружения колеса в условиях нагружения на стенде для проведения испытаний на усталость, описанием и демонстрацией изображений расчетных моделей колёс (литого алюминиевого и стального сборного) для проведения расчетов квазистатического нагружения с целью оценки циклической долговечности, приведенными результатами расчетов циклической долговечности колёс, описанием методики и фотографиями стенда для экспериментального определения параметров кривой усталости образцов штампованного колеса, используемой в качестве исходной информации для оценки циклической долговечности данного колеса.

Вывод 5 о том, что *«Показано, что при оценке усталостной прочности колеса обоснован выбор в качестве исходных данных усталостной кривой $\sigma-N$ ($s-N$ в расчетных КЭ комплексах) материала и критерия Дж. Гудмана для учета асимметрии цикла нагружения при наличии статической составляющей напряжений в сборных колесах. Вывод справедлив для всех типов конструкций колес»*, на наш взгляд, является очевидным, применимым ко многим другим металлоконструкциям машин при действии циклических нагрузок.

Вывод 6 о том, что *«Разработанная методика анализа НДС литых алюминиевых колес при ударе позволяет получить достоверные значения НДС на*

завершающей стадии проектирования колёс, что позволяет также дать окончательную оценку несущей способности колеса до принятия решения об изготовлении, например до проектирования литейных форм, и выпуска первых образцов. Методика применима для моделирования виртуального эксперимента удара по колесу при установке с различными углами расположения колеса относительно горизонтальной плоскости (осевой удар, удар под углом 13° , под углом 30° и др.), отличия между расчетными схемами заключаются только в КЭ-моделях конструкций стендов при сохранении общей методики расчета», подтвержден согласующимися между собой результатами расчетного и экспериментального определения значений деформаций в контрольных точках литого алюминиевого колеса при его ударном нагружении. Экспериментально определенные и расчетные значения деформаций демонстрируют приемлемую сходимость, как по уровням (по приведенным данным максимальная погрешность составляет 18%), так и по характеру изменения во времени.

Вывод 7 о том, что «По результатам анализа, проведенного при определении НДС колеса при действии ударных нагрузок в условиях сертификационных испытаний, дана рекомендация учесть в требованиях ГОСТ 52390-2005 дополнительные характеристики стенда, которые, как показали исследования, могут влиять на результаты испытаний (уточнить расстояние между основным и дополнительным грузами, устойчивость опоры колеса, равномерность уровня пола под испытательным стендом), что одновременно позволит ввести в расчетную схему более подробную модель испытательного стенда и повысить точность результатов расчета», базируется на: выполненных автором расчетах методом конечных элементов (МКЭ) напряженно-деформированного состояния (НДС) литого алюминиевого колеса при ударном нагружении, соответствующем условиям проведения стендовых испытаний; проведенном анализе результатов стендовых испытаний литых алюминиевых колес по определению их НДС при ударном нагружении; сопоставлении расчетных и экспериментальных результатов определения НДС литых алюминиевых колес и выявлении различной сходимости результатов расчетов с результатами экспериментов в зависимости от указанных параметров расчетных моделей ударного нагружения колёс.

На наш взгляд, все выводы 1 - 6 достоверны, выводы 1, 2, 4, 6 имеют научную новизну. Вывод 3 в части «критериев качества КЭ-массива», по нашему мнению, соответствует рекомендациям руководства пользователя программного обеспечения, в части «методики планирования дискретизации КЭ массива», отражает личный опыт автора создания в высокой степени сложных расчетных моделей и в этой части имеет научную новизну. Вывод 5 носит общий характер и нуждается в конкретизации формулировки применительно к объекту исследования. Вывод 7 требует дополнительного обоснования.

3. Научная, практическая и экономическая значимость работы

В диссертации разработаны важные прикладные аспекты научного сопровождения процессов проектирования колёсных машин, связанные с обеспечением прочности автомобильных колёс при статических,

циклических и ударных воздействиях, проработаны методические вопросы расчетного исследования напряженно-деформированного состояния применительно к литым алюминиевым и стальным штампованным автомобильным колесам. Научной новизной работы является предложенный комплексный метод расчетной оценки прочности автомобильных колес, включающий методику моделирования ударного нагружения конструкции колеса в условиях стендовых испытаний на удар.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования разработанного комплексного метода расчетной оценки прочности автомобильных колес при статическом, циклическом и ударном нагружении при проектировании колёсных дисков нового поколения, имеющих современный дизайн, минимальную массу и удовлетворяющих требованиям прочности. Практическая значимость подтверждена имеющимися документами о внедрении результатов работы (приведенными в приложении к диссертации).

Экономической значимостью от внедрения разработанных методик расчетного исследования НДС является возможность существенно сократить сроки проектирования и доводки новых конструкций стальных и литых алюминиевых колес с одновременным сокращением затрат на их разработку.

4. Оценка оформления работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных результатов и выводов, списка литературы (115 наименований) и приложения. Работа написана хорошим литературным языком.

К недостаткам оформления следует отнести немногочисленные опечатки, незначительные смысловые и стилистические погрешности. Так, в оглавлении пропущена ссылка на раздел «Основные результаты и выводы по работе»; пропущены запятые (например, на стр. 29, 84 диссертации и др.); на стр. 72 диссертации момент M_{bmax} представлен как сила, в размерности силы F_V на той же странице допущена ошибка; на стр. 101 при описании стенда испытаний на удар пропущена ссылка на схему стенда; на стр. 103 перед формулой 4.1, по-видимому, пропущена часть текста; на стр. 112, 116 диссертации в обозначении стандарта «ГОСТ Р 52390-2005» пропущена буква «Р».

5. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат отражает содержание диссертации. Диссертация по принадлежности объекта исследования, целей и задач исследования соответствует специальности 05.05.03 — Колёсные и гусеничные машины.

6. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.

Положения диссертации достаточно полно опубликованы в 11-и печатных работах, включая 4 работы в изданиях, рекомендованных

Перечнем ВАК РФ для публикации результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

7. Замечания

1. Выводы по главам, на наш взгляд, должны быть структурированы и сформулированы более кратко. Общие выводы диссертации в значительной степени носят характер аннотации и не в полной мере раскрывают основные научные результаты выполненной работы.

2. Вынесенный в название диссертации термин «надежность» отражен в работе рассмотрением свойств долговечности автомобильных колёс, а именно показателей циклической долговечности по критерию усталостной прочности. Свойства безотказности, на которые автор ссылается во вводной части диссертации, далее в тексте по соответствующим показателям не рассмотрены.

3. Терминология, применяемая при рассмотрении свойств сопротивления усталости, регламентирована ГОСТ 23207. В работе допущены отступления от стандартизированных терминов (например, в выводе 5 работы применен неточный термин «усталостная кривая» вместо термина - «кривая усталости»).

4. В главе 3 для оценки усталостной долговечности колес автором использована формула Мэнсона, связывающая амплитуду полных деформаций цикла (упругих и пластических) с числом циклов до разрушения. Экспериментально подтверждена приемлемая точность данной формулы в области малоциклового усталости. Недостатком формулы является весьма приблизительный учет сопротивления повторным упругим деформациям и, соответственно, возможные большие погрешности в области многоциклового усталости. Расчет автором циклической долговечности по данной формуле дал значения количества циклов до разрушения алюминиевого колеса от 220 млн. до 620 млн. (стр. 84 диссертации), что соответствует области гиперциклового усталости. Полученные результаты вызывают сомнения.

5. При сопоставлении расчетных и экспериментальных результатов определения НДС колеса в режиме ударного нагружения на стенде не указаны места установки тензорезисторов, в которых измерены деформации, использованные для сравнения с расчетными деформациями (табл. 4.1, стр. 109 диссертации). Не даны разъяснения, являются ли сравниваемые значения деформаций отдельными компонентами деформаций, или представляют значения эквивалентных деформаций, относятся ли приведенные значения к одному моменту времени, или они являются максимумами динамических процессов, зафиксированные возможно в разные моменты времени.

6. Рекомендация по введению дополнительных требований в ГОСТ Р 52390-2005 представляются недостаточно проработанными (отсутствуют конкретные предложения по изменению стандарта). Не в полной мере

обосновано предложение, ввести в стандарт требование относительно величины расстояния между ударными грузами на стенде для испытания колеса на удар.

Заключение

Несмотря на сделанные замечания, можно заключить, что представленная диссертация является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, в которой содержится новое решение задачи моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности литых алюминиевых и штампованных стальных автомобильных колёс при статических, ударных и циклических воздействиях, соответствующих условиям проведения испытаний. Задача имеет существенное научное значение в области создания новых современных конструкций колёсных машин, отвечающих требованиям прочности.

Достоверность выводов базируется на строгом научном обосновании разработанных расчетных методик, анализе и обобщениях результатов расчетных и экспериментальных исследований. Диссертация имеет научную новизну, практическую полезность, отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Логинов Евгений Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 — Колёсные и гусеничные машины.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,

О.А. Русанов
07.07.2017 О.А. Русанов

Подпись Русанова О.А. подтверждаю



ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
ОТДЕЛА КАДРОВ
ПЕРЕВЕРЗЕВА А.А.
«07» 07 2017

Сведения об оппоненте:

Русанов Олег Александрович

доктор технических наук по специальностям:

01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры;

05.05.03 - Колёсные и гусеничные машины.

профессор кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»,

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,

107023, РФ, г. Москва, ул. Б Семёновская, д. 38.

e-mail : newmalina@rambler.ru

Тел.(р.): (495) 602-80-61