УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор ВолгГТУ
д.х.н., проф. Навроцкий А.В.
_____
«09» 06 2017 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Логинова Евгения Михайловича
на тему: «Разработка комплексного метода расчетной оценки прочности и надежности колес автотранспортных средств», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

Актуальность работы

Колеса являются основным видом движителя для автомобилей и наземных транспортных средств (ТС). От их надежности зависит безопасность дорожного движения.

При проектировании колес проводится комплекс проектных расчетов, которые определяют характеристики сопротивления колеса различным эксплуатационным нагрузкам.

В настоящее время конструкции колес чрезвычайно многообразны. При их производстве применяются различные материалы и технологии. При этом особенности конструкций колес определяли и до настоящего времени определяют различные подходы к расчету колеса на прочность при различных условиях

нагружения. Для оценки прочности, усталости, сопротивления удару колеса первоначально определяется его напряженно-деформированное состояние (НДС).

Условием допуска готового изделия к установке на ТС и к дальнейшей эксплуатации является успешное прохождение обязательных сертификационных испытаний, определяемых нормативными документами.

Автомобильные колеса проектируются как для первичного рынка и конкретных ТС (оригинальные конструкции, согласно определению ГОСТ Р 52390-2005), так и для розничной продажи, причем в этом случае одно и то же колесо может быть использовано для различных ТС с небольшими вариантами конструктивных особенностей.

В этой связи развитие и совершенствование применения метода конечных элементов (МКЭ) для расчета НДС колес является актуальным.

Объект исследования.

Типовые конструкции современных колес ТС – литое колесо из высокопрочного алюминиево-кремниевого сплава для легковых автомобилей, и стальное сборное штампованное колесо на примере колеса, предназначенного для эксплуатации на машинах сельскохозяйственного назначения.

Предмет исследования.

Комплексный метод расчетного анализа НДС различных типов колес ТС при нормированных нагрузках, возникающих при движении ТС, с использованием современного аппарата численного анализа на основе МКЭ.

Методы исследования.

Применяются положения теории автомобиля, разделов механики деформируемого твердого тела (сопротивление материалов, строительная механика, теория конструкционной прочности, теория механических колебаний и удара). Основной расчетный инструмент: метод конечных элементов (МКЭ) реализованный в лицензионном программном МКЭ-комплексе инженерного анализа MSC.Patran в совокупности с решателями MSC.Nastran и MSC.Fatigue, а также решателя LS-Dyna. Экспериментальная база: аккредитованный сертификационный стенд лаборатории МАДИ.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением широко апробированного лицензионного программного комплекса МКЭ MSC.Patran с решателями MSC.Nastran и MSC.Fatigue, решателя LS-Dyna, специального аккредитованного испытательного оборудования при проведении экспериментов, тщательным контролем условий проведения испытаний и сопоставимости результатов экспериментальных исследований с данными проведенных расчетов.

Научная новизна:

1. Разработана методика создания адекватных, экспериментально апробированных КЭ-моделей конструкций автомобильных колес сложной геометрической формы для расчета на ударные нагрузки. Приведены требования к качеству конечных элементов, разработан алгоритм создания сеток КЭ.

2. Разработана методика исследования НДС колес с учетом упругопластического деформирования и оценки на этой основе усталостной прочности и долговечности для литых алюминиевых и стальных, в том числе, сборных штампованных колес с учетом технологии изготовления.

3. Подтверждена целесообразность КЭ-моделирования поведения колес при условиях стендовых испытаний в сборе с основными элементами испытательного стенда. Сформулирован основной критерий включения элементов стенда в основу расчетной схемы.

4. Разработана методика численного моделирования НДС литого алюминиевого колеса с использованием аппарата МКЭ под действием ударных нагрузок.

Практическая значимость.

Применение разработанного комплексного метода позволит производителям колес сократить затраты на промежуточные испытания конструкций с целью их дальнейшей доводки и оптимизации. На стадии проектирования обеспечивается более точная оценка долговечности и ударной прочности конструкции в течение жизненного цикла. Особенно важно, что рекомендации по составлению КЭ-моделей

и расчетам МКЭ могут быть легко использованы при применении универсальных инженерных комплексов МКЭ (ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS и др.).

Реализация результатов работы.

Результаты диссертационного исследования были использованы для развития методик испытаний сертификационным предприятием ООО «ИЛКА-МАДИ», внедрены в ПАО «Кременчугский колесный завод» для расчетов на усталостную прочность и долговечность штампованных колес, а также в процессы анализа прочности литых колес на производственном предприятии ООО «ПРОМА колеса из легких сплавов». Разработанные модели и методики активно используются в учебном процессе кафедры «Строительная механика» и кафедры «Автомобили» ФГБОУ ВО МАДИ и в работе «Центра компетенции MSC.Software – MADI».

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика создания типовых конечно-элементных моделей колес ТС сложной геометрической формы;

2. Методика формулировки граничных условий и приложения нагрузки к КЭ-модели исследуемого объекта в различных условиях нагружения колеса;

3. Методика моделирования нагружающих элементов испытательных стендов (для испытаний по схеме "изгиб с вращением" и для испытаний на удар);

4. Методика расчетного анализа прочности колеса при ударном воздействии МКЭ с использованием разработанных моделей и ее экспериментальное обоснование;

5. Методика сравнительной оценки прочности и долговечности колес на основе расчетного анализа МКЭ;

6. Обоснование эффективности предложенного метода расчетной оценки прочности и надежности колес автотранспортных средств.

Апробация работы.

Основные результаты исследований доложены и обсуждены на Международных конференциях молодых ученых МИКМУС-2011 и МИКМУС-2014 (Москва, ИМАШ РАН, декабрь 2011 и 2014 гг.), на ежегодных научных конференциях ФГБОУ ВО МАДИ (Москва, 2009-2017 гг.), «Международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в

России» (Москва, МГМУ (МАМИ), март 2012 г.) и на Международной конференции по теории механизмов и машин IFToMM-2014 (г. Тяньцзинь, КНР, 2014 г.). Работа по исследованию усталостной прочности штампованных колес докладывалась на 14-м Мировом конгрессе по теории механизмов и машин IFToMM (г. Тайпей, Тайвань, 2015 г.).

Публикации.

Основные положения диссертации опубликованы в 11 печатных работах, в том числе 4 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК.

Структура и объем работы.

Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, списка использованной литературы (115 наименований) и 1 приложения. Текст изложен на 134 страницах машинописного текста, содержит 9 таблиц и 62 иллюстраций.

Автореферат в целом соответствует диссертации.

Во введении изложены актуальные проблемы анализа прочности колес автотранспортных средств. Сформулированы цели и задачи исследования. Приведены аргументы в пользу актуальности темы и рассмотрена новизна и практическая значимость результатов работы. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен анализ существующих конструкций колес ТС, рассмотрены основные нагрузки, применяемые материалы, технологии изготовления и стандартные методы испытаний, регламентирующие прочность и долговечность колес ТС. Изложен анализ работ отечественных и зарубежных исследователей, посвященных оценке НДС колес. Кратко изложено описание широко использовавшихся ранее методов расчета, основанных на теории тонких пластин и оболочек и применяемых, преимущественно, к расчету тонкостенных штампованных колес. Приводится характеристика объектов исследования: литого из алюминиево-кремниевого сплава типа 7Jx16” и сборного стального тракторного типа DW20-26.

Вторая глава посвящена разработке методики создания расчетных схем колес (КЭ-моделей) для получения адекватных решений задач на основе МКЭ с

использованием современного аппарата компьютерных программных комплексов. Разработка адекватной расчетной схемы является одним из важнейших разделов комплексного метода, от её качества зависит весь результат анализа. Поскольку достоверность расчетов и скорость их выполнения в значительной степени зависят от выбранного типа элементов и их качества, решению этой проблемы уделено особое внимание. Перед описанием разработанной технологии создания КЭ-сетки рассмотрены основные типы конечных элементов, возможные области их применения, сформулированы критерии качества конечных элементов, постоянный контроль которых позволяет обеспечить необходимую точность расчета, что особенно важно в расчетах на удар. Необходимость и достаточность данных критериев, а также их предельных значений, проверена эмпирическим путем на примере выполнения расчета на сопротивление удару литого алюминиевого колеса. Приводятся рекомендации по выбору размера конечного элемента. Уделяется внимание параметрам, характеризующим зону поиска контакта.

В третьей главе изложены результаты исследований и разработки методики расчетной оценки усталостной прочности и долговечности различных конструкций колес на основе анализа НДС колес с применением МКЭ. Схемы нагружения соответствуют условиям испытаний по схеме «изгиб с вращением», регламентированным стандартами ГОСТ Р 52390-2005 для колеса легкового автомобиля и EUWA 3.12 для тракторного колеса сборной конструкции.

В четвертой главе изложена разработанная методика расчетного исследования прочности литых алюминиевых колес под действием ударных нагрузок. В структуре комплексного метода анализа прочности колеса данный вид расчета рекомендуется выполнять на завершающей стадии, когда по результатам предварительных статических расчетов и на усталостную прочность, уже выполнена основная доводка конструкции. В качестве примера рассмотрено ударное нагружение литого алюминиевого колеса 7Jx16” в системе стенда для испытаний на удар под углом 30°. Отмечено, что на результаты расчета влияют характеристики и особенности конструкции ударного стенда, а также свойства материала колеса, особенно параметры демпфирования, который, в принципе, меняется от обода к

ступице. Однако полученные результаты показали, что предложенная методика позволяет выполнить оценку поведения колеса при ударе и произвести на этой основе необходимую коррекцию конструкции. Кроме того, полученные результаты подтвердили предложение о возможности использования приведенного коэффициента динамичности для приближенных инженерных оценок напряжений при ударе.

В **основных результатах и выводах по работе** приведены основные научные и практические результаты выполненных работ.

В целом диссертационная работа является законченным научным исследованием. Автореферат и публикации отражают содержание диссертации.

Общие замечания по диссертационной работе:

1. В работе автор не учитывает шину, которая влияет на напряжённое состояние колёсного диска.
2. Корректность применения автором термина надёжность (комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации включает в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости, а также определённое сочетание этих свойств), поскольку в работе автор рассматривает только долговечность и усталостную прочность колесного диска.
3. В главе 2 очень много внимания уделено рассмотрению общепринятых принципов построения КЭ-моделей.
4. Спорным является моменты упрощения модели, описанные на стр. 54-55 и приведенные на рис. 2.8, поскольку они затрагивают поверхности, отвечающие за распределение нагрузок по диску. В то же время в выводах автор приводит: «*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.*»
5. Насколько корректно автором принято следующее допущение (стр. 65) – «*при создании расчетной схемы для анализа НДС литого колеса во время*

усталостных испытаний по схеме «изгиб с вращением», в качестве одного из контактных тел выбиралось не все колесо, а лишь околоступичная часть диска, что позволяло сократить время решения задачи», и как это повлияло на достоверность полученных результатов?

6. Учитывает ли автор технологические погрешности изготовления при моделировании сварного шва? (стр. 67)
7. Не совсем понятно утверждение автора – *достоверность материалов обоснована надежностью и достоверностью работы КЭ-моделей, созданных по данной методике* (стр. 68).
8. Насколько испытание с использованием образцов-темплетов по схеме нагружения адекватно колесу со смонтированной покрышкой в накачанном состоянии?
9. Без числовых значений не совсем понятно, что в виду имел автор, приводя в выводах по главе 3 – «*при проектном сравнительном анализе достаточно достоверный результат можно получить без привлечения MSC.Fatigue, основываясь на анализе долговечности лишь наиболее нагруженных зон, определяемых по результатам квазистатического расчета».*
10. Без схемы установки датчиков невозможно понять результаты, приведенные в таблице 4.1, в частности, где расположены датчики 1 и 5?
11. Не совсем ясна взаимосвязанность и адекватность полученных результатов, поскольку автор на стр. 112-113 приводит следующее: «…Испытательные стенды могут отличаться конструктивными и жесткостными параметрами, которые могут оказывать влияние на результат виртуальных и натурных испытаний…», «…что может вносить погрешность при сравнении результатов испытаний одного и того же изделия на двух стендах разной конструкции..» «…Таким образом, возникают перемещения самого колеса, изменяется форма колебаний опоры стенда, и показания тензодатчиков с большой вероятностью будут отличаться от результатов испытаний с корректной постановкой стенда…». Что отражено и в выводе 7.

12. В выводе 4 приводится: «разработана методика учёта вариантов сборки конструкции для выбора *оптимальной технологии* для колес сборной конструкции». Как данная методика учитывает, например, оптимальность с экономической стороны?
13. Не ясно, на основании каких результатов в выводе 5 автором приведено: «Вывод справедлив для всех типов конструкций колес», когда в исследовании использованы только две типовые конструкции.
14. Не обошлось без досадных недостатков в оформлении: стр. 48 (жёлтый фон надписи рисунок), рис 2.14, 2.15, 2.17, 3.3 (а,б… пропали), рис 4.6 и т.д.

Высказанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую оценку работы.

В соответствии с вышесказанным, диссертационная работа «Разработка комплексного метода расчетной оценки прочности и надежности колес автотранспортных средств» отвечает требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор, Логинов Евгений Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Данный отзыв рассмотрен и единогласно одобрен на расширенном заседании кафедры «Транспортные машины и двигатели» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» протокол № 9 от «02» июня 2017 г.

доктор технических наук (05.05.03), профессор, зав. кафедрой «Транспортные машины и двигатели» ВолгГТУ	Ляшенко Михаил Вольфредович
доктор технических наук (05.05.03), профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей» ВолгГТУ	Дыгало Владислав Геннадиевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»).
Россия, 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28. т. 8(8442)-23-00-76, rector@vstu.ru

Подпись Ляшенко М.В., Дыгало В.Г.
УДОСТОВЕРЯЮ 09 июня 2017
Нач. общего отдела
(подпись)