

О Т З Ы В

официального оппонента Щербакова Владимира Ивановича на диссертацию Кулагина Виктора Александровича «Разработка основ метода определения ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля на базе технологий виртуального и полунатурного эксперимента», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины»

1. Общая характеристика

Диссертация изложена на 213 стр. машинописного текста, содержит 100 рис., 36 табл. и список использованной литературы, включающий 75 источников, в том числе 25 на иностранных языках. Опубликованные соискателем 10 печатных работ и автореферат в достаточной мере отражают содержание диссертации.

2. Актуальность темы исследования

В эпоху конкурентной борьбы автопроизводители стремятся сокращать время разработки новых моделей автомобильной техники. Одним из путей развития такого процесса является уменьшение длительности доводочных и ресурсных испытаний автомобиля и, в частности, его ходовой части как на полигонах, так и в условиях дорог общего пользования. Кроме того, в настоящее время широкое развитие получают технологии виртуального и полунатурного эксперимента для исследования усталостной долговечности компонентов, узлов и агрегатов автомобиля.

Активная разработка данных технологий и методик их применения ведётся преимущественно ведущими зарубежными инжиниринговыми центрами и автопроизводителями. В отечественной науке наивысший уровень развития темы форсированных ресурсных испытаний автомобиля в ходе его разработки достигнут в конце 1980-х гг., дальнейшие исследования проводились в отдельных направлениях указанной темы.

Вышеизложенное дает основание считать, что выбранная тема исследования «Разработка основ метода определения ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля на базе технологий виртуального и полунатурного эксперимента» является актуальной.

3. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автором на защиту выносятся основные результаты и выводы, а также положения научной новизны и практической значимости диссертационного исследования. Научная новизна диссертационного исследования заключается:

- в методике масштабирования временных историй колёсных и трансмиссионных нагрузок, новизна которой заключается в разработанном комплексе оригинальных формул;

- в методике подготовки комплекса многозвенных математических моделей, новизна которой заключается в выборе математического описания элементов ходовой части автомобиля, что позволяет исследовать динамическую нагруженность аналогично полунатурным испытаниям;

- в методике валидации математической модели для исследования динамической нагруженности несущих элементов ходовой части, новизна которой заключается в выборе количественного и качественного критериев сходимости временных историй нагрузок и относительных деформаций.

4. Значимость результатов работы для науки и производства

Результаты, полученные автором, расширяют научные знания в области определения ресурса и долговечности компонентов ходовой части автомобиля и позволяют решать прикладные задачи по совершенствованию легковых автомобилей категорий М1 и М1С.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

- разработан комплекс многозвенных математических моделей для динамического моделирования колёсных нагрузок в цикле форсированных испытаний подвески автомобиля, включающий в себя модели объекта исследования и модель испытательного стенда, подкрепляемый инструкцией к использованию;

- отработан метод формирования форсированного цикла нагружения подвески для полунатурных испытаний для автомобилей категорий М1 и М1С;

- получены результаты формирования базового цикла нагружения в виде накопленных значений псевдоповреждений по каналам колесных нагрузок, которые могут использоваться как ссылочные при составлении программ форсированных испытаний несущих элементов ходовой части автомобилей-аналогов, близких по массогабаритным параметрам с исследованным;

- разработан синтетический цикл нагружения ходовой части автомобиля категории М1 с использованием методики масштабирования колёсных и трансмиссионных нагрузок;

- проведены полунатурные ресурсные испытания модулей передней и задней подвесок автомобиля с использованием комплексной испытательной установки в полном объёме, результаты которых подтверждают эффективность применяемого комплекса методик для вновь проектируемых автомобилей;

- разработаны инструкции по применению масштабирования нагрузочного цикла, а также по созданию математических многозвенных моделей и проведению виртуальных испытаний на динамическую нагруженность.

5. Обоснованность и достоверность результатов работы

Достоверность научных результатов работы подтверждается корректностью постановки задач. При решении поставленных задач эффективно используются методы математического моделирования многозвенных механических систем на ЭВМ, результаты математического моделирования и экспериментальных исследований.

Выводы и рекомендации, представленные в диссертации, обоснованы и подтверждены сопоставлением результатов расчёта с данными экспериментальных исследований.

6. Структура и содержание работы

Диссертация Кулагина В.А. состоит из введения, 6 глав основного текста, общих выводов и рекомендаций, заключения, списка использованных источников и приложений.

Во введении раскрыта проблематика и обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задача работы, а также отражены положения научной новизны, выносимые на защиту, и практическая ценность полученных результатов.

В главе 1 «Анализ известных методов определения ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля, постановка цели и задач исследования» проведён анализ состояния проблемы, выполненный на основе обзора отечественных и зарубежных литературных источников, в которых приводятся методы теоретического и практического определения ресурса компонентов ходовой части автомобиля. Обоснована целесообразность разработки метода определения ресурса компонентов ходовой части автомобиля на этапе технического проектирования при совместном использовании методов математического моделирования на ЭВМ и лабораторной испытательной базы. Выполненные в первой главе исследования позволили сформулировать задачи, направленные на достижение цели работы, решению которых посвящены остальные главы диссертации.

В главе 2 «Разработка нагрузочного цикла для форсированных ресурсных испытаний несущих элементов ходовой части автомобиля» создан нагрузочный цикл для виртуальных и полунатурных ресурсных испытаний несущих элементов ходовой части проектируемого автомобиля. Данный процесс включал в себя определение базового нагрузочного цикла, разработку и применение методики масштабирования колёсных и трансмиссионных нагрузок. Основу базового нагрузочного цикла составили результаты определения колёсных и трансмиссионных нагрузок «базового» автомобиля, полученные в ходе выполнения манёвров, входящих в программу полигонных форсированных ресурсных испытаний легковых автомобилей. Для применения к проектируемому автомобилю базовый цикл подвергается масштабированию согласно разработанной автором методике. Данная методика основана на известных положениях теории автомобиля, в частности, тягового и динамического балансов, а также определении реакций на колёсах в статическом и квазистатическом состояниях. Методика предполагает ряд допущений, которые ограничивают её применение этапом технического проектирования автомобиля. Результатом применения методики является синтетический нагрузочный цикл, соответствующий проектируемому автомобилю и используемый в ходе виртуальных и полунатурных ресурсных испытаний.

В главе 3 «Разработка комплекса математических моделей для определения динамической нагруженности несущих элементов ходовой части автомобиля путём виртуальных испытаний» автор обосновывает концепцию двухэтапной разработки и валидации многозвенных математических моделей, направленных на анализ динамической нагруженности звеньев механической системы. Далее, следуя данной концепции, автор ведёт первый этап разработки и валидации математических моделей модулей передней и задней подвески легкового автомобиля категории M1/M1C. В качестве среды моделирования используется программный комплекс MSC Adams/Car, особенностью которого является модульный подход составления математических моделей. Валидация разработанных моделей выполнена с использованием испытаний на определение параметров кинематики и эластокинематики, выполненные для модулей передней и задней подвески легкового автомобиля категории M1.

Приводятся результаты валидации в виде сводных таблиц и графиков сравнения расчётных и экспериментальных характеристик кинематики и эластокинематики. Дана

интерпретация результатов валидации комплекса математических моделей, согласно которой возможна доработка моделей согласно второму этапу разработки.

В главе 4 «Валидационное исследование динамической нагруженности несущих элементов ходовой части автомобиля на базе метода проведения виртуальных испытаний» рассматривается валидация разработанного комплекса математических моделей по критериям динамической нагруженности. Основу валидационного базиса составляют результаты замеров перемещения штоков амортизаторов и результаты тензометрирования, полученные для легкового автомобиля категории М1С, использованного для разработки базового цикла нагружения. Расчёт динамического нагружения осуществляется для моделей второго этапа разработки с использованием базового цикла нагружения согласно разработанной методике: динамическое нагружение моделируется для каждого режима движения, входящего в нагрузочный цикл. Валидация проводится по предложенным автором критериям.

Приводятся результаты валидации в виде сводных таблиц и графиков сравнения сигналов хода штоков амортизаторов, нагрузок и относительных деформаций. Дана интерпретация результатов валидации комплекса математических моделей, в которой отражены причины различий результатов расчёта и эксперимента в ряде случаев.

В главе 5 «Определение ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля на базе метода проведения полунатурных испытаний» выполнены полунатурные испытания модулей передней и задней подвески легкового автомобиля категории М1 на комплексной испытательной установке, в основе которой находится стенд многокомпонентного нагружения MTS 329. В ходе полунатурных испытаний выполнена апробация метода формирования синтетического нагрузочного цикла, представленного во второй главе. цикла

Приводятся результаты полунатурных испытаний в сравнении с испытаниями на дорогах испытательного полигона, а также дана оценка выполненной процедуры настройки испытательного оборудования и результатов настройки на программу полунатурных испытаний.

В главе 6 «Оценка эффективности реализации метода ресурсных испытаний несущих элементов ходовой части автомобиля» автор оценивает эффективность реализации метода ресурсных испытаний несущих элементов ходовой части автомобиля с учетом разработанного нагружения модуля подвески и проводит сравнение длительности полигонных, полунатурных и виртуальных испытаний.

7. Основные замечания по содержанию диссертации и автореферата

1. Имеется ряд ссылок на иностранные источники, тогда как есть аналогичные и более глубокие исследования наших ученых. Так, например, на стр. 45 по усталости приведены сведения из иностранного источника [2]. Вопрос: Чем лучше этот источник по сравнению с работами наших ученых, таких как Серенсен С.В., Болотин В.В., Когаев В.П., Гусев А.С. и др.?

2. Нашими учёными (Когаевым В.П.) доказано, что в формуле (1.6), представленной на стр. 46 и применяемой для расчета накопленных относительных повреждений параметр D равен 1 только при регулярных нагружениях. Для нерегулярных нагружений, которые характерны для ходовых частей автомобиля, должна делаться

корректировка линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений. Значения параметра D принимаются в диапазоне от 0,5-0,7, в зависимости от степени нерегулярности нагружения.

3. Имеется много иностранных терминов, вероятно, взятых из иностранных источников. Например, на стр. 48 применен термин «референсная» величина. Толкования такого слова нет даже в словаре: Захаренко Е.Н., Комарова Л.Н., Нечаева И.В. Новый словарь иностранных слов. Изд. 3. – М.: 2008.

4. При анализе различных методов схематизации процессов нагружения автор не применяет параметр сложности структуры, под которым понимается отношение среднего числа экстремумов к среднему числу нулей или пересечения среднего уровня. Если этот параметр равен 1, то такой процесс нагружения называется процессом простой структуры и его схематизация любыми методами дает один и тот же результат. А вот для процессов сложной структуры разные методы схематизации будут давать разные результаты. Наиболее точные результаты могут быть получены методом «полных циклов», о котором автор не упоминает в своей работе.

5. На рис. 2.8 - 2.11 и ряде других приведены графики в очень малом масштабе по оси времени, что не дает возможности провести частотный анализ изображенных процессов.

6. Многие параметры, которыми оперирует автор, например, ресурс, среднее квадратическое отклонение, спектры сигналов замеров и расчета и др. имеют случайный характер. Для оценки их точности требуется строить доверительные границы методами математической статистики.

7. Не могу не отметить и такой печальный факт, что автор диссертации при анализе работ в области расчетной и экспериментальной оценки ресурса и долговечности не отметил нашего знаменитого ученого, академика и основоположника теории и расчета автомобиля - Евгения Алексеевича Чудакова.

По тексту также имеются незначительные ошибки, опечатки и замечания редакционного характера, которые сообщены диссертанту и отмечены на полях диссертации.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Анализ представленных материалов даёт право считать диссертацию Кулагина В.А. завершённым исследованием, в котором изложены материалы, позволяющие решать инженерные задачи, возникающие в процессе разработки легковых автомобилей.

Полученные автором результаты свидетельствуют о решении поставленных задач и достижении цели диссертационного исследования. Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертации. Результаты исследований опубликованы в соответствии с требованиями.

Таким образом, несмотря на замечания и пожелания, все положения и выводы, изложенные в диссертации, следует считать обоснованными, достоверными и обладающими научной новизной.

Заключение о соответствии работы требованиям ВАК

Диссертация Кулагина Виктора Александровича «Разработка основ метода определения ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля на базе технологий виртуального и полунатурного эксперимента» выполнена на актуальную тему и является завершённым научным трудом, в котором на основании выполненных автором исследований и разработок представлено **решение научной задачи расчётно-экспериментального исследования нагруженности несущих элементов ходовой части автомобиля, позволяющей сократить длительность процесса проектирования автомобиля за счёт разработанных методических основ прогнозирования ресурса на этапе технического проектирования и имеющей значение для отрасли автомобилестроения.**

Диссертационная работа Кулагина Виктора Александровича «Разработка основ метода определения ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля на базе технологий виртуального и полунатурного эксперимента» соответствует паспорту научной специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» и требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Официальный оппонент:

к.т.н., доцент кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»



В.И. Щербаков 09.09.2022

Подпись В.И. Щербакова заверяю

Ведущий специалист
по кадровому
делопроизводству
Волкова А.Л.



Справочно:

Щербаков Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент, «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», доцент кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» ФГАОУ ВПО «Московский политехнический университет», 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38. Тел. +7 (495) 223-05-23, доб. 13-57,

E-mail: visherbakov@mail.ru