

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 217.014.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ - «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
АВТОМОБИЛЬНЫЙ И АВТОМОТОРНЫЙ ИНСТИТУТ «НАМИ»
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.09.2022 г. № 18

О присуждении Кулагину Виктору Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка основ метода определения ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля на базе технологий виртуального и полунатурного эксперимента» по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» принята к защите 29 июня 2021 г. (протокол заседания № 12) диссертационным советом Д 217.014.01, созданным на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ») Министерства промышленности и торговли РФ, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2, приказ Минобрнауки России о создании совета от 11 апреля 2012 г., № 105/НК.

Соискатель Кулагин Виктор Александрович, 26 июля 1995 года рождения, в 2018 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» (ФГБОУ ВО «Московский политех») с присвоением квалификации инженера по специальности «Наземные транспортно-технологические средства». В 2018 г. Кулагин Виктор

Александрович поступил на очное отделение аспирантуры ФГУП «НАМИ» по направлению подготовки 15.06.01 – «Машиностроение», специальность 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины», а в 2022 году её окончил.

С сентября 2018 г. по настоящее время работает во ФГУП «НАМИ», в центре «Численный анализ и виртуальная валидация» на должности инженера-конструктора второй категории, а с сентября 2021 г. и по настоящее время на должности инженера-конструктора первой категории.

Диссертация выполнена в центре «Численный анализ и виртуальная валидация» ФГУП «НАМИ» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук Бокарев Александр Игоревич, ведущий инженер-конструктор центра «Численный анализ и виртуальная валидация» ФГУП «НАМИ».

Официальные оппоненты:

Годжаев Захид Адыгезалович, доктор технических наук (специальность 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»), профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по инновационной и внедренческой деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ»);

Щербаков Владимир Иванович, кандидат технических наук (специальность 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин»), доцент, доцент кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» (ФГАОУ ВО «Московский политех»),

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном: доктором технических наук, профессором, заведующим кафедры СМ-10 «Колёсные машины» Котиевым Георгием Олеговичем; кандидатом технических наук, доцентом кафедры СМ-10 «Колёсные машины» Чичекиным Ильей Викторовичем и утвержденном доктором экономических наук, профессором, проректором по науке и стратегическим коммуникациям Дрогозовом Павлом Анатольевичем; – **указала, что** рассматриваемая диссертация Кулагина Виктора Александровича является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной научной задачи, заключающейся в разработке методик определения динамической нагруженности элементов подвески автомобиля, основанных на использовании технологий виртуального и полунатурного эксперимента и направленных на сокращение длительности процесса проектирования автомобиля в части прогнозирования ресурса. Выполненное исследование отвечает паспорту научной специальности 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины» и соответствует критериям оценки кандидатских диссертационных работ, изложенным в пп. 9...11, 13,14 Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней». Автор диссертации «Разработка основ метода определения ресурса несущих элементов ходовой части автомобиля на базе технологий виртуального и полунатурного эксперимента» Кулагин Виктор Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, из которых 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 в издании, входящем в международную базу цитирования Scopus, приравниваемом к публикации ВАК РФ (Постановление Правительства РФ

№426 от 20.03.2021 г. «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации ...»:

1. Бокарев А.И., Кулагин В.А., Назарков И.А., Мюллер К. Результаты применения методики определения эквивалентного пробега автомобиля // Труды НАМИ. – 2022. – № 2 (289). – С. 60–72. DOI: 10.51187/0135-3152-2022-2-60-72. **Издание входит в перечень ВАК РФ.**

2. В.А. Кулагин. Разработка комплекса математических моделей подвески легкового автомобиля для анализа усталостной долговечности // Известия МГТУ «МАМИ». – 2021. – №4 (50) – С. 33-43. **Издание входит в перечень ВАК РФ.**

3. Кулагин В.А. Валидация комплекса математических моделей подвески легкового автомобиля по критериям нагруженности // Известия МГТУ «МАМИ». – 2022. – №1 (51). DOI: 10.17816/2074-0530-100044. **Издание входит в перечень ВАК РФ.**

4. Юрлин Д.В., Бахмутов С.В., Кулагин В.А. Базовые алгоритмы управления жёсткостью пневмоэлементов подвески автомобиля // Труды НАМИ. – 2020. – № 1 (280). – С. 20–35. **Издание входит в перечень ВАК РФ.**

5. Kulagin V.A., Bokarev A.I. Modern Approaches of Vehicle Suspension Durability Evaluation at Early Stages of Development // IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. and Eng. – Dec., 2020. – Vol. 941 – №1 – 012072. **Издание входит в перечень Scopus.**

6. Кулагин В.А., Бокарев А.И., Назарков И.А. Стратегия разработки методологий стендовых испытаний по проверке прочности и долговечности компонентов ходовой части автомобиля на этапе технического проекта // В сборнике: Автомобиле- и тракторостроение. Материалы Международной научно-практической конференции. Том 1. – М.: БНТУ, 2019. – С. 115-120.

7. Кулагин В.А., Бокарев А.И. Моделирование работы активных систем подвески автомобиля в цикле испытаний на долговечность ходовой части автомобиля // В сборнике: Технологии и компоненты наземных интеллектуальных транспортных систем. – 2019. – С. 543-552.

8. Юрлин Д.В., Бахмутов С.В., Кулагин В.А., Кулешов Р.М. Испытания и расчёт пневматических упругих элементов адаптивной подвески автомобиля // В сборнике: Технологии и компоненты наземных интеллектуальных транспортных систем. 2019. С. 573-589.

9. Кулагин В.А., Бокарев А.И. Исследование влияния податливости компонентов направляющего аппарата подвески автомобиля на накопление повреждаемости при моделировании нагрузочного цикла ресурсных испытаний // В сборнике: Форум инновационных транспортных технологий, Наземные интеллектуальные транспортные средства и системы. Объединённый международный онлайн форум. 2020. С. 1165-1190.

10. Бокарев А.И., Кулагин В.А., Назарков И.А. Разработка и апробация методики масштабирования колёсных нагрузок автомобиля для моделирования нагрузочного цикла ресурсных испытаний // В сборнике: Форум инновационных транспортных технологий, Наземные интеллектуальные транспортные средства и системы. Объединённый международный онлайн форум. 2020. С. 1295-1308.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные:

1. Государственное научное учреждение «Объединённый институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси» (ГНУ «ОИМ НАН Беларуси»), кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной работе Шмелев Алексей Васильевич.

В отзыве имеются два замечания, одно из которых имеет редакционный характер, а одно имеет уточняющий характер.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы» Института транспортных систем Тумасов Антон Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры

«Автомобили и тракторы» Института транспортных систем Лелиовский Константин Ярославич.

В отзыве имеются четыре замечания, два из которых имеет уточняющий характер, одно имеет редакционный характер, а одно имеет критический характер:

- при оценке долговечности того или иного узла с использованием расчётных методов большое значение имеют сведения о кривых усталости материалов, из которых выполнены те или иные изделия. При этом серьёзное влияние на кривые усталости оказывают различные факторы, такие как термическая обработка, предварительное пластическое упрочнение материала в локальных зонах и др. В первой главе диссертации, в разделе 1.5 «Методы оценки и сравнения накопления повреждений» автор работы затрагивает эти вопросы и предлагает использовать «кривые псевдоусталости», а в последующих разделах приводит обоснование выбранных параметров (степенной показатель кривой усталости, точки разрушения). Тем не менее, в ходовой части автомобиля достаточно много различных деталей, выполненных из самых разных материалов. С точки зрения практической значимости работы, можно было бы уделить большее внимание и дать ряд более подробных рекомендаций по выбору параметров кривых псевдоусталости для типовых элементов конструкции ходовой части.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» (ФГАОУ ВО «Московский политех»), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортные средства» Баулина Елена Евгеньевна.

В отзыве имеются три замечания, одно из которых имеет уточняющий характер, а два имеют критический характер:

- в работе не упоминается влияние несущей системы автомобиля (рамы, кузова) на общее восприятие автомобилем внешнего воздействия со стороны дороги. Также в работе не указывается, учитывается ли податливость несущей

системы в математических моделях модулей ходовой части автомобиля и в испытываемых сборках модулей подвески, и если учитывается, то как;

- несмотря на наличие в теме диссертации слова «ресурс», в самой работе не было приведено определение ресурса компонентов, что можно было бы сделать, используя данные, составляющие валидационный базис (результаты замеров и расчёта нагрузок и относительных деформаций).

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ТГУ»), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Соломатин Николай Сергеевич.

В отзыве имеются два замечания уточняющего характера.

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ЛГТУ»), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность» Гребеньков Дмитрий Васильевич.

В отзыве имеются три замечания, одно из которых имеет уточняющий характер, а два имеют критический характер:

- среди методов схематизации наиболее эффективным является метод дождя, так как с его помощью подсчитывается количество циклов по сочетаниям значений амплитуды и среднего значения цикла в заданных диапазонах, что позволяет наиболее полно отразить характеристики случайного процесса в виде градиентной диаграммы. На основе этих соображений использование метода дождя для валидации математических моделей представляется более логичным;

- автор не приводит описание процесса определения оптимальных характеристик решателя со сравнением сходимости сигналов отклика математической модели при различных настройках решателя и ограничивается конечным результатом в виде рекомендации.

6. Общество с ограниченной ответственностью «ЭвоКарго» (ООО «ЭвоКарго»), доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Шухман Сергей Борисович.

В отзыве имеются два замечания, одно из которых имеет уточняющий характер, а одно имеет критический характер:

- при разработке базового цикла нагружения автор использует результаты только одной итерации замеров нагрузок по программе полигонных форсированных испытаний, хотя следовало выполнить серию замеров нагрузок и определить базовый цикл нагружения с помощью инструментов математической статистики.

7. Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», Инжиниринговый центр “SimTech”, кандидат технических наук, доцент, научный руководитель Леоненко Олег Викторович.

В отзыве имеются три замечания, два из которых имеют уточняющий характер, а одно имеет редакционный характер.

8. Общество с ограниченной ответственностью «Мидивисана» (ООО «Мидивисана»), кандидат технических наук, генеральный директор Мишута Дмитрий Викторович, кандидат технических наук Владимир Георгиевич Михайлов.

В отзыве имеются два замечания уточняющего характера.

Выбор официальных оппонентов, доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента РАН З.А. Годжаева и кандидата технических наук, доцента В.И. Щербакова обосновывается высокой компетенцией ученых и имеющимися у них публикациями в области исследований ресурса и долговечности автотранспортных средств, проводимых соискателем диссертационной работы.

Выбор ведущей организации обосновывается широко известными достижениями и исследованиями ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» в области автомобилестроения и эксплуатации автотранспорта.

Выбранные оппоненты и ведущая организация являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в соответствующем направлении. Работы оппонентов и ведущей организации опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2017 по 2022 гг. и свидетельствуют об их осведомленности в современных тенденциях расчётного и экспериментального определения ресурса и долговечности автомобиля и его компонентов, а также об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских работ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации соответствует требованиям постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан комплекс методик, направленных на определение динамической нагруженности элементов компонентов автомобиля, основанных на использовании технологий виртуального и полунатурного эксперимента и направленных на сокращение длительности процесса проектирования автомобиля в части прогнозирования ресурса;

предложена процедура оценки достоверности результатов определения динамической нагруженности компонентов ходовой части, получаемых с помощью многозвенной математической модели подвески автомобиля, включающая количественные и качественные критерии соответствия получаемых записей сил и относительных деформаций компонентов результатам физических испытаний;

доказана эффективность использования технологий виртуального и полунатурного эксперимента, направленного на сокращение длительности работ по прогнозированию ресурса ходовой части автомобиля;

введены уточнения в понимании и использовании термина «псевдоповреждения» (англ. Pseudo damage) в контексте определения ресурса и формирования программы ресурсных испытаний.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана целесообразность применения технологий виртуального и полунатурного эксперимента на этапе технического проектирования автомобиля, так как они позволяют обнаружить слабые места конструкции до сборки первого прототипа автомобиля и предупредить возможный выход прототипных компонентов из строя в ходе дорожных испытаний;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс инструментов многозвенного математического моделирования, существующие методы обработки и схематизации записей случайных процессов, комплексное испытательное оборудование, в основе которого находится стенд многокомпонентного нагружения подвески автомобиля;

изложены положения процедуры приведения нагрузочного цикла, записанного для базового автомобиля, к проектируемому автомобилю путём масштабирования, а также положения процедуры последовательного усложнения и валидации многозвенной математической модели подвески автомобиля для достижения приемлемой точности модели на ранних этапах проектирования автомобиля;

раскрыты проблемы, связанные с влиянием активных и адаптивных шасси базового автомобиля на нагруженность компонентов ходовой части в процессе проведения полигонных испытаний для формирования базового нагрузочного цикла, а также проблемы при работе с физическими и виртуальными тензометрическими датчиками, которые удалось выявить в ходе валидации математических моделей;

изучено влияние податливости несущих компонентов ходовой части автомобиля в многозвенной математической модели на результаты определения их динамической нагруженности;

проведена модернизация существующей математической модели виртуального стенда в программном комплексе MSC Adams/Car для соответствия физическому аналогу (комплексному испытательному оборудованию для полунатурных испытаний модуля подвески автомобиля).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

внедрены основные результаты диссертационной работы в виде методик-инструкций по масштабированию нагрузочных циклов, разработке многозвенных математических моделей ходовой части автомобиля и их использования для определения динамической нагруженности несущих компонентов ходовой части в исследовательские и инженерные работы ФГУП «НАМИ» и ООО «МТПК» в области проектирования и анализа долговечности компонентов ходовой части автомобиля;

определены перспективы использования полученных результатов в практике определения ресурса компонентов ходовой части автомобиля на этапе технического проектирования;

создана система практических рекомендаций, направленных на разработку многозвенных математических моделей ходовой части легкового автомобиля на этапе технического проектирования;

представлены основы для формирования методологии расчётного определения ресурса компонентов ходовой части автомобиля, которые в реализованы в виде разработанных методик.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ – результаты получены в процессе полунатурных и полигонных испытаний с использованием сертифицированного оборудования, экспериментальные исследования

проводились в Центре испытаний и Испытательном Центре продукции автомобилестроения ФГУП «НАМИ»;

теория построена на известных, проверяемых данных, положениях теории автомобиля, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на обобщении передового опыта ведущих отечественных и зарубежных центров и заключается в решении проблемы снижения длительности работ по определению ресурса компонентов ходовой части автомобиля путём внедрения технологий виртуального и полунатурного эксперимента;

использовано сравнение авторских данных, полученных путём численного моделирования и проведения эксперимента;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов расчётных и экспериментальных исследований;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации по динамической нагруженности компонентов ходовой части автомобиля, в том числе реализованные в современных программно-аппаратных комплексах.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

1. Формирование концепции анализа динамической нагруженности и ресурса несущих компонентов ходовой части легкового автомобиля на этапе технического проектирования с использованием технологий виртуального и полунатурного эксперимента.

2. Создание и применение метода формирования синтетического цикла нагружения ходовой части для виртуальных и полунатурных испытаний.

3. Создание и валидация комплекса многозвенных математических моделей переднего и заднего модулей ходовой части легкового автомобиля, виртуального стенда, функционально ориентированный на моделирование динамического нагружения в соответствии с нагрузочным циклом.

4. Разработка методик-инструкций и участие в полунатурных испытаниях модулей ходовой части легкового автомобиля.

5. Обработка, анализ и обобщение полученных расчётных и экспериментальных данных по динамической нагруженности несущих компонентов ходовой части легкового автомобиля.

6. Выполнение оценки эффективности внедрения разработанных методик с точки зрения сокращения длительности ресурсных испытаний, где установлено, что длительность цикла полунатурных испытаний в 5,5 раз меньше длительности полигонных испытаний, а цикл виртуальных испытаний имеет дополнительное сокращение длительности в 3,8 раз.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Какова роль соискателя как разработчика моделей при условии, что используемые в диссертационной работе инструменты хорошо известны?

2. Почему при рассмотрении воздействия трансмиссии учитывались только силовые факторы, без кинематических факторов?

3. По результатам валидации по критериям динамической нагруженности получено достаточно много неудовлетворительных результатов, например, для нижнего рычага задней подвески. Что следует делать инженеру во избежание таких результатов?

Соискатель Кулагин В.А. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привёл обоснованную аргументацию:

1. Задачей соискателя как разработчика математических моделей был выбор таких способов описания элементов ходовой части, чтобы с приемлемой точностью решить конкретную задачу определения динамической нагруженности несущих элементов ходовой части для дальнейшего определения ресурса, а также определить последовательность разработки модели для обеспечения приемлемой точности на ранних этапах проектирования. Несмотря на то, что использованные методы описания отдельных элементов ходовой части известны, не существует чётких

рекомендаций по выбору этих методов для решения данной задачи. Процесс выбора и использования методов описания отдельных элементов и сведение описанных элементов в одну модель согласно выбранной последовательности действий понимается как разработка модели.

2. Воздействие трансмиссии ограничивается силовыми факторами, так как использованное в диссертационной работе стендовое оборудование предполагает статическое положение ступиц колёс, а значит, и элементы привода также будут статичными. Таким образом, постановка испытаний со стороны трансмиссии имеет квазистатический характер.

3. В первую очередь, необходимо добиваться как более полного соответствия модели реальному автомобилю путём итерационной доработки описания элементов модели, так и более предсказуемого поведения активных или адаптивных систем ходовой части на автомобиле, на котором выполняются замеры. Затем необходимо обратить больше внимания на калибровку тензометрических датчиков и использовать преимущественно датчики, подключённые по схемам «половина моста» и «полный мост». Неудовлетворительные результаты, полученные, в основном, для нижнего рычага задней подвески, объясняются тем, что в силу сложной геометрии и комплексного нагружения данный рычаг был оснащён датчиками, подключёнными по схеме «четверть моста», калибровка которых затруднительна. При невозможности использовать другие схемы подключения, как здесь, инженеру остаётся ориентироваться на результаты для смежных элементов.

На заседании 28.09.2022 г. диссертационный совет принял заключение, за решение актуальной научной задачи, связанной с повышением эффективности оценки ресурса компонентов ходовой части автомобиля на этапе технического проектирования и имеющей значение для развития процесса проектирования транспортных средств, присудить Кулагину Виктору Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

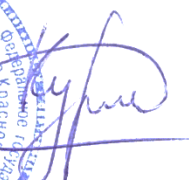
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по рассматриваемой специальности, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии РФ,
лауреат премии Правительства РФ,
заслуженный машиностроитель РФ



Гируцкий Ольгерт Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Курмаев Ринат Ханяфиевич

28.09.2022