

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 629.35.017:681.531.6

**ЛЕ
Ван Нгиа**

**УПРАВЛЕНИЕ ТРОГАНИЕМ НА ПОДЪЕМЕ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ
С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСМИССИЕЙ НА ОСНОВЕ
АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.05.03 – колесные и гусеничные машины

Минск 2019

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

ХАРИТОНЧИК Сергей Васильевич,

доктор технических наук, доцент, ректор Белорусского
национального технического университета

Официальные оппоненты:

КРАСНЕВСКИЙ Леонид Григорьевич,

член-корреспондент НАН Беларуси, доктор техниче-
ских наук, главный научный сотрудник ГНУ «Объеди-
ненный институт машиностроения НАН Беларуси»;

МЕЛЬНИКОВ Александр Сергеевич,

кандидат технических наук, доцент, декан автомеха-
нического факультета ГУ ВПО «Белорусско-
Российский университет»

Оппонирующая организация ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга
«БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»

Защита состоится 15 мая 2019 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссерта-
ций Д 02.05.04 при Белорусском национальном техническом университете по адре-
су: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секре-
таря (+37517) 292-24-04, адрес электронной почты: deanmef@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национально-
го технического университета.

Автореферат разослан «12» апреля 2019 г.

Ученый секретарь совета

по защите диссертаций,

кандидат технических наук, доцент

Сафонов А. И.

© Ле Ван Нгиа, 2019

© Белорусский национальный
технический университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее развитие получает тенденция по автоматизации основных рабочих процессов автомобиля с целью снижения утомляемости водителя, повышения эксплуатационных свойств и безопасности движения автотранспортных средств. Одной из весомых стадий при управлении грузовым автомобилем является трогание на подъеме. Поэтому задача автоматизации работы системы управления силовым агрегатом с функцией трогания на подъеме являются актуальной.

Автоматизированные трансмиссии на базе сухого фрикционного сцепления и механической ступенчатой коробки передач (АМТ) обладают более высоким коэффициентом полезного действия, меньшей относительной массой и более низкой себестоимостью изготовления по сравнению с гидромеханической передачей одного класса и открывают новые возможности для улучшения эксплуатационных характеристик АТС. На мировом рынке производители в области автомобилестроения, такие как Eaton (США), ZF (Германия), Mercedes Benz (Германия), Volvo (Швеция), Iveco (Италия) и Scania (Швеция) уже наладили серийное производство АМТ с разными уровнями автоматизации. Для повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции белорусских и вьетнамских производителей требуются более глубокие научные исследования по АМТ, в том числе процесса трогания грузового автомобиля с места на подъеме.

Исследования процесса трогания грузового автомобиля с места на подъеме проводились многими авторами такими как: В.Б. Альгин, Ю.М. Захарик, Л.Г. Красневский, В.А. Кусяк, С.Н. Поддубко, О.С. Руктешель, И.С. Цитович, Barna Szimandl, Bingzhao Gao, Y. Chen, H. Chu, Dominik Schindele, Jiang Xuefeng, Hege Langjord, Hongliang Wang, Makarand S. Kumbhar, Pai Peng, Xu Xian, Yingchun Long и др. Однако, несмотря на многообразие разработок, во Вьетнаме и в Беларуси до сих пор практически отсутствуют комплексные исследования по АМТ грузового автомобиля с функцией трогания с места на подъеме или по системе помощи троганию.

Одной из самых сложных задач при автоматизации процесса трогания грузового автомобиля с места на подъеме является разработка и отладка алгоритма управления силовым агрегатом и тормозом. В настоящее время в печати нет подробного описания таких алгоритмов. Данная диссертационная работа посвящена разработке адаптивного алгоритма трогания с места на подъеме грузового автомобиля с автоматизированной трансмиссией.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планами научно-исследовательских работ и установленными приоритетными направлениями:

1. Приоритетные направления научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы, п. 7 «Системы и комплексы машин», утверждены Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12.03.2015.

2. Соглашение между Правительством Республики Беларусь и Правительством Социалистической Республики Вьетнам о сотрудничестве в сфере образования, вступившее в силу 15 мая 2013.

3. Госбюджетная научно-исследовательская работа кафедры «Автомобили» БНТУ ГБ № 16–43 «Разработка концепции и создание электронной системы управления имитаторами сопротивления движению машин на базе порошковых электромагнитных тормозов серии ПТ».

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы заключается в обеспечении автоматического управления безоткатным троганием с места на подъеме грузового автомобиля путем разработки адаптивного алгоритма управления тягово-тормозным режимом.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ конструкции и алгоритмов функционирования мехатронных систем управления силовым агрегатом и тормозами грузового автомобиля, а также научных работ и патентной информации по теме диссертации.

2. Выбрать стратегии управления основными агрегатами и узлами мехатронных систем при трогании грузового автомобиля с места на подъеме.

3. Разработать адаптивный алгоритм безоткатного трогания грузового автомобиля с места на подъеме и обосновать оборудование для его реализации в системе помощи троганию.

4. Выполнить моделирование мехатронных систем управления силовым агрегатом и тормозом грузового автомобиля с разработанным адаптивным алгоритмом трогания с места на подъеме.

5. Рассчитать и выбрать оценочные показатели переходного процесса трогания грузового автомобиля с места на подъеме при моделировании.

6. Разработать технические средства и провести стендовые испытания для подтверждения работоспособности разработанного адаптивного алгоритма трогания грузового автомобиля с места на подъеме и адекватности разработанной модели системы помощи троганию грузового автомобиля.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1. Предложены стратегия управления, отличающаяся подбором индивидуальных параметров на каждом цикле работы программы электронного блока управления (ЭБУ) и принцип регулирования тормозного момента на колесах при трогании грузового автомобиля с места на подъеме путем управления электромагнитными клапанами пневматического модулятора антиблокировочной системы (АБС), основывающийся на сравнении текущего значения регулируемого параметра с его верхним и нижним пределами.

2. Разработан адаптивный алгоритм безоткатного трогания грузового автомобиля с места на подъеме, который используется для программирования микроконтроллеров при разработке системы помощи троганию (СПТ).

3. Разработана имитационная модель системы помощи троганию, позволяющая реализовать алгоритмы управления силовым агрегатом и тормозами при трогании грузового автомобиля на подъеме и прогнозировать комплексное функционирование интеллектуальных систем на ранних стадиях проектирования.

4. Определены с помощью имитационного моделирования пороговые значения параметра обратной связи в цепи управления сухим фрикционным сцеплением, поз-

воляющие ограничить оценочные показатели переходного процесса в рекомендуемых пределах при трогании грузового автомобиля с места на подъеме.

5. Разработана методика обоснования параметров бесконтактного датчика крутящего момента (БДКМ), отличающегося от аналогов способом беспроводной передачи данных и простотой конструкции.

Положения, выносимые на защиту

1. Стратегия управления, отличающаяся подбором индивидуальных параметров на каждом цикле работы программы ЭБУ и принцип регулирования давления в тормозной камере при трогании грузового автомобиля с места на подъеме путем управления пневматическим модулятором АБС, обеспечивающий заданный темп уменьшения тормозного момента на колесах в зависимости от передаваемого крутящего момента.

2. Адаптивный алгоритм безоткатного трогания грузового автомобиля с места на подъеме, отличающийся параметром обратной связи в цепи управления фрикционным сцеплением и принципом регулирования давления в тормозной камере и обеспечивающий адаптацию мехатронной системы по изменениям технических состояний деталей, весовой нагрузки автомобиля, наклона дороги и интенсивности управления двигателем.

3. Имитационная модель системы помощи троганию, отличающаяся учетом взаимодействий между механическими, пневматическими, электрическими и электронными компонентами и позволяющая реализовать разработанный адаптивный алгоритм управления силовым агрегатом и тормозами при трогании грузового автомобиля на подъеме.

4. Пороговые значения параметра обратной связи в цепи управления сухим фрикционным сцеплением, определяемые методом имитационного моделирования, которые используются для ограничения оценочных показателей переходного процесса в рекомендуемых пределах при трогании грузового автомобиля с места на подъеме.

5. Методика обоснования параметров БДКМ для регистрации величины крутящего момента в реальном времени, отличающаяся способом выбора беспроводной передачи данных.

Личный вклад соискателя ученой степени

Цели и задачи, направление и методики исследований, обсуждение результатов и формирование выводов проводились совместно с научным руководителем. Автором лично разработаны: принцип регулирования давления в тормозной камере при трогании грузового автомобиля с места на подъеме с предложенной стратегией управления пневматическим модулятором АБС, адаптивный алгоритм трогания грузового автомобиля с места на подъеме, имитационная модель мехатронной системы управления силовым агрегатом и тормозами грузового автомобиля, методика обоснования параметров бесконтактного датчика крутящего момента, определены пороговые значения параметра обратной связи в цепи управления сухим фрикционным сцеплением. Кусяк В.А. (к.т.н., доцент) оказал помощь в настройке и верификации стенда для проведения испытаний. Другие соавторы принимали участие в обсуждении, редактировании и оформлении материалов совместных публикаций.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных научно-практических, научно-технических конференциях и форумах: «Наука – образованию, производству, экономике», Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь, 2016, 2017 и 2018 г.); «Международная научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и работников структурных подразделений университета», Национальный транспортный университет (Киев, Украина, 2016, 2017 и 2018 г.); 2nd National Conference on Mechanical Engineering and Automation, 7–8 October, Hanoi University of Science and Technology (Hanoi, Vietnam, 2016); «Новые технологии и материалы, автоматизация производства», Брестский государственный технический университет (Брест, Беларусь, 2016 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий», Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Воронеж, России, 2016 г.); 10th National Conference on Mechanical Engineering, 8–9 December, Le Quy Don Technical University and Vietnam Association of Mechanic (Hanoi, Vietnam, 2017); «Автомобиле- и тракторостроение», Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь, 2018 г.); Форум проектов программ Союзного государства – VII Форум вузов инженерно-технологического профиля, Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь, 2018 г.).

Результаты работы внедрены в учебный процесс Белорусского национального технического университета (Акт о практическом использовании результатов исследования в учебном процессе от 25 июня 2018 г.) и используются в производственных процессах вьетнамских компаний SOJI ELECTRONIC CO., LTD (Акт о практическом использовании результатов исследования в производственном процессе от 25 июня 2018 г., № BBNT010618), и LISA CONTROL TECHNOLOGY CO., LTD (Акт о практическом использовании результатов исследования в производственном процессе от 25 сентября 2018 г., № NT020918). По результатам работы подана заявка на выдачу евразийского патента «Система помощи троганию грузового автомобиля и автопоезда с места на подъеме без откатывания» (заявка от 02 ноября 2018 г. № 2018/ЕА/0085).

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликованы 19 научных работ, в том числе: 7 статей в научных журналах, включённых в Перечень научных изданий ВАК Республики Беларуси для опубликования результатов диссертационных исследований (4,3 а.л.), материалы 9 международных научных конференций и форума и 3 тезисов докладов на конференциях и 1 заявка о выдаче патента на изобретение.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка (включающего 146 использованных источников, 20 публикаций автора) и 6 приложений.

Полный объем диссертации составляет 215 страниц, в том числе 94 рисунков (47 страниц), 8 таблиц (10 страниц), библиографический список (15 страниц) и 6 приложений (28 страниц).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении и общей характеристике работы** обоснована актуальность разработки адаптивного алгоритма трогания грузового автомобиля с места на подъеме и создания системы помощи троганию, сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

В **первой главе** представлены анализ научных работ по теме диссертации, патентный обзор по СПТ и обзор современных автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей на базе сухого фрикционного сцепления и механической коробки передач (КП), включая анализ их программно-аппаратных платформ, стратегий управления исполнительными механизмами и алгоритмов трогания с места.

На основании проведенного аналитического обзора сделан вывод о том, что в мировом автомобилестроении наметился устойчивый тренд к оснащению грузовых автомобилей высокоэффективными автоматизированными мехатронными системами управления силовым агрегатом (АМСУСА). При этом автоматизация работы сухого фрикционного сцепления при трогании грузового автомобиля с места на подъеме является одной из самых трудных задач. Первый этап на пути решения данной задачи представляет собой разработку адаптивного алгоритма взаимодействия АМСУСА с тормозной системой. Также установлено, что подобные алгоритмы не раскрываются в открытой печати. Это указывает на актуальность темы диссертационного исследования.

Исполнительные механизмы (ИМ) современных АМСУСА можно классифицировать на электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные. Наибольшее распространение на современном этапе развития автомобилестроения получили ИМ пневматического типа ввиду наличия источника энергии на борту автомобиля, возможности компенсации утечек и возможности использования штатных пневмоаппаратов систем управления в автоматизированном приводе. Поэтому в дальнейших исследованиях предпочтение отдано сжато му воздуху в качестве источника энергии для силовой части АМСУСА.

Для повышения точности функционирования мехатронных систем управления сухим фрикционным сцеплением их развитие осуществляется по двум основным направлениям:

- переход к электрическим ИМ, обеспечивающим прецизионное позиционирование ротора ввиду непосредственного электрического управления, а также более высокую скорость срабатывания за счет отсутствия зоны нечувствительности, трубопроводов и электромагнитных клапанов в цепи управления. Однако при использовании электродвигателей существенно повышается потребление электроэнергии и себестоимость продукции;

- совершенствование алгоритма управления пневматическими двухпозиционными и пропорциональными электромагнитными клапанами (ПЭМК) автоматизированного привода сцепления, что повышает интеллектуальный уровень программной реализации алгоритма, но при этом способствует и повышению конку-

рентоспособности продукции ввиду использования в аппаратной платформе мехатронной системы относительно недорогих, но качественных элементов.

Второе направление является наиболее подходящим по созданию высококонкурентоспособных АМСУСА, однако при этом возникает необходимость решения задачи о высокоточном управлении сухим фрикционным сцеплением с автоматизированным пневматическим приводом.

Наблюдается тенденция к оснащению АМСУСА системой помощи троганию по двум направлениям с разным уровнем автоматизации:

- использование дополнительного оборудования для упрощения алгоритмов управления, но при этом повышается себестоимость продукции, снижается общая надежность системы;

- перепрограммирование ЭБУ дополнительными алгоритмами управления существующих компонентов на борту автомобиля (например АБС), при этом повышается конкурентоспособность продукции.

Дополнительное перепрограммирование ЭБУ алгоритмов управления более предпочтительно и по этому пути идут мировые автопроизводители. Однако, при этом остается не только задача по управлению модулятором АБС, но и требуется решение проблемы совместной работы систем управления силовым агрегатом и тормозной системой при трогании грузового автомобиля с места на подъеме.

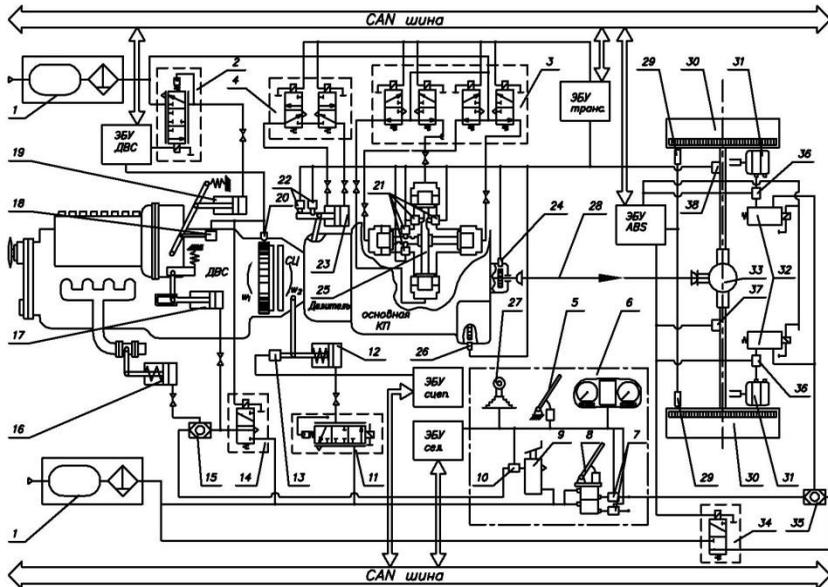
В процессе эксплуатации или обслуживания грузового автомобиля такие факторы, как износ трансмиссионных деталей, изменения технических характеристик элементов, различные условия эксплуатации, разные стили вождения существенно влияют на качество переходного процесса при трогании автомобиля. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод об отсутствии в открытой печати разработанных адаптивных алгоритмов трогания грузового автомобиля с места на подъеме. Поэтому исследование по адаптации алгоритма трогания грузового автомобиля является актуальным и задача по разработке адаптивного алгоритма требует решения.

Таким образом, исследования в первой главе показали высокую актуальность создания системы помощи троганию грузового автомобиля. Главная сложность состоит в создании и отработке алгоритма управления, адаптивного к изменению параметров и характеристик автомобиля в процессе эксплуатации.

Во **второй главе** приведены разработка адаптивного алгоритма трогания грузового автомобиля с места на подъеме и оборудование для его реализации. Описывается стратегия управления исполнительными механизмами АМСУСА (широотно-импульсная модуляция) и тормозной системы (временно-импульсная модуляция), приводится принципиальная схема СПТ (рисунок 1) и блок-схема адаптивного алгоритма трогания с места на подъеме.

Объектом исследования является грузовой автомобиль КамАЗ-5320 полной массой 20 т, включающий дизельный двигатель КамАЗ-740, сухое фрикционное сцепление и механическую 10-ступенчатую коробку передач КамАЗ-14 с двухступенчатым делителем. В отличие от штатной конструкции, дизельный двигатель, сухое фрикционное сцепление, коробка передач с делителем имеют электропневматический привод. Управление топливоподачей дизельного двигателя, включение-выключение сцепления, переключение ступеней в коробке передач и в делителе и управление давлением в тормозной камере происходят автоматически в результате срабатывания

исполнительных механизмов 12, 16, 17, 19, 23, 25 (рисунок 1) при подаче сигнала от ЭБУ на соответствующий электромагнитный клапан (ЭМК) или их комбинацию.



1 – питающая часть пневмопривода; 2, 11 – ПЭМК управления соответственно топливоподачей дизельного двигателя и сцеплением; 3 – блок ЭМК управления исполнительным механизмом КП; 4 – блок ЭМК управления делителем; 5 – педаль акселератора с датчиком положения; 6 – органы управления и панель приборов; 7, 10, 36 – датчики давления; 8 – педаль тормоза с двухсекционным тормозным краном; 9 – клапан останова двигателя; 12, 16, 17, 19, 23, 25 – ИМ соответственно сцепления, моторного тормоза, выключения подачи топлива, рычага регулятора топливного насоса и делителя; 13, 18, 22 – датчики перемещения; 14 – ЭМК управления моторным тормозом и выключением подачи топлива; 15, 35 – двухмагистральный клапан; 20, 24, 26, 29 – датчики частоты вращения; 21 – концевые выключатели; 25 – исполнительный механизм КП; 27 – селектор режимов; 28 – карданная передача; 30 – ведущие колеса; 31 – тормозная камера; 32 – пневматический модулятор, 33 – ведущий мост, 34 – ЭМК тормозной системы; 37 – гироскопический датчик наклона дороги; 38 – датчики положения рамы

Рисунок 1. – Принципиальная схема мехатронной системы управления силовым агрегатом и тормозом грузового автомобиля КамАЗ-5320

Трогание грузового автомобиля с места на подъеме по разработанному алгоритму (рисунок 2) происходит следующим образом: нажимая на тормозную педаль, водитель сначала выбирает режим движения при трогании. После перевода селектора 27 (рисунок 1) режимов движения в положение D (drive), оператор воздействует на педаль 5 акселератора, освободив тормозную педаль. Сразу после получения информации о нулевом положении тормозной педали, нулевой скорости

автомобиля и положительном угле наклона дороги ЭБУ АБС посылает управляющий сигнал на электромагнитный клапан 34 для подачи воздуха в тормозные камеры, предотвратив движения автомобиля назад. При обнаружении перемещения педали акселератора, одновременно осуществляются следующие действия:

- ЭБУ трансмиссией формирует сигнал на пропорциональный электромагнитный клапан 11 для выключения фрикционного сцепления, после чего в определенной последовательности управляет блоком ЭМК 3 исполнительного механизма 25 КП, а также электромагнитными клапанами 4 переключения ступеней делителя, осуществляя выбор и включение требуемой передачи. После этого ЭБУ трансмиссией посылает на ПЭМК 11 управляющий широтно-импульсный сигнал (ШИМ-сигнал) с определенным коэффициентом заполнения площади для перемещения нажимного диска сцепления до положения начала замыкания фрикционных накладок;

- ЭБУ двигателем определяет скорость нажатия педали акселератора и предварительный темп включения сцепления и подает ШИМ-сигнал с определенным коэффициентом заполнения площади на ПЭМК 2 для управления топливоподачей, обеспечивая нужную частоту вращения коленчатого вала двигателя в момент начала замыкания фрикционных накладок сцепления;

- ЭБУ АБС подает временно-импульсный сигнал (ВИМ-сигнал) на модуляторы 32 для снижения давления в тормозных камерах 31 до требуемого значения по сигналу датчика угла наклона дороги 37.

После включения требуемой передачи, установки нужных оборотов дизельного двигателя и нужного давления в тормозных камерах, ЭБУ трансмиссией генерирует ШИМ-сигнал на ПЭМК 11, увеличивая от цикла к циклу коэффициент заполнения площади сигнала на определенную величину для организации процесса замыкания фрикционных накладок сцепления. Параллельно ЭБУ АБС подает управляющий ВИМ-сигнал на модуляторы для сброса давления в тормозных камерах по ходу увеличения передаваемого крутящего момента сцеплением. В качестве обратной связи при этом используется приращение относительной угловой скорости ведущего и ведомого дисков сцепления по времени.

Процесс управления пневматическим модулятором АБС при работе СПТ грузового автомобиля разделяется на два следующих этапа:

- сброс давления в тормозной камере от номинального (номинальное давление в тормозной системе) до требуемого значения по преодолению сопротивления наклону дороги и качению автомобиля;

- сброс давления в тормозной камере от требуемого значения до атмосферного уровня по определенному закону в зависимости от темпа включения сцепления путем перебора времени открытия и закрытия выпускного электромагнитного (пилотного) клапана пневматического модулятора АБС.

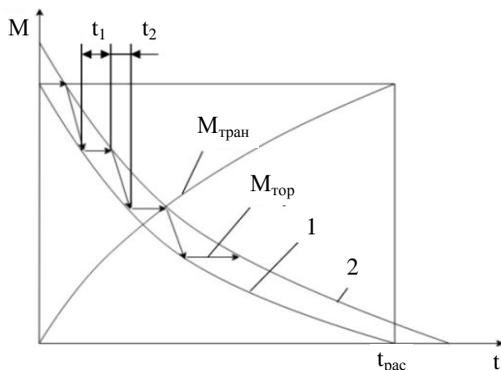
В зависимости от выбранного водителем темпа трогания грузового автомобиля, который определяется по скорости нажатия педали акселератора, ЭБУ трансмиссией предварительно рассчитывает темп роста передаваемого крутящего момента сцепления. Затем на основе величины угла наклона дороги и массы автомобиля, определяется время нарастания $t_{рас}$ крутящего момента до значения $M_{под} - M_{ф}$ (формула 1). За это время тормозной момент (или давление в тормозной камере) снижается от требуемого значения до нуля по ходу увеличения крутящего момента в трансмиссии.

Условие безоткатного движения автомобиля назад описывается неравенством:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{под}} - M_{\Psi} - M_{\text{тран}} - M_{\text{тор}} &\leq 0, \\ M_{\text{под}} &= G_{\varphi} \cdot \sin \alpha \cdot r_0, \quad M_{\Psi} = f \cdot G_a \cdot r_0, \quad M_{\text{тран}} = f(\tau), \quad M_{\text{тор}} = f(p_{\text{кам}}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $M_{\text{под}}$, M_{Ψ} – моменты сопротивления соответственно подъему и качению, $M_{\text{тран}}$ – крутящий момент в трансмиссии, $M_{\text{тор}}$ – тормозной момент в колесах, $G_{\varphi} = \varphi \cdot G_a$ – сцепной вес автомобиля, G_a – полный вес автомобиля, φ – коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью, r_0 – радиус качения колес без скольжения, f – коэффициент сопротивления качению, α – угол наклона дороги, τ – предварительный темп включения сцепления, $p_{\text{кам}}$ – давление в тормозной камере.

Оптимальное значение тормозного момента $M_{\text{тор}}$ для обеспечения условия безоткатного движения автомобиля назад при трогании составляет $M_{\text{под}} - M_{\Psi} - M_{\text{тран}}$ и описывается линией 1 на рисунке 3. В связи с изменением характеристик элементов тормозной системы в процессе эксплуатации автомобиля принимается расчетный диапазон регулирования тормозного момента, ограниченной линиями 1 и 2 на рисунке 3. При этом верхний предел тормозного момента (линия 2) определяется на основании линии 1 с увеличением 10 % от нижнего предела.



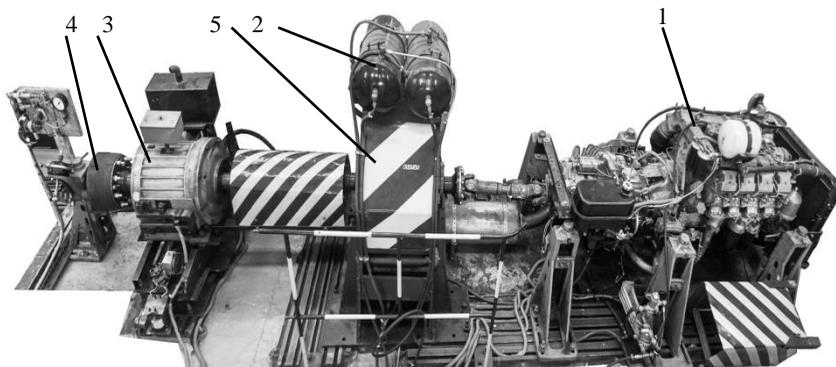
$M_{\text{тран}}$ – крутящий момент в трансмиссии,
 $M_{\text{тор}}$ – тормозной момент, 1 – идеальный
 тормозной момент (нижний предел),
 2 – верхний предел тормозного момента,
 t_1 – время закрытия клапана, t_2 – время
 открытия клапана, $t_{\text{рас}}$ – расчетное время
**Рисунок 3. – Принцип регулирования тормозного
 момента при трогании грузового автомобиля с
 места на подъеме**

Процесс управления тормозным моментом на колесе, суть которого отражается на рисунке 3, осуществляется сравнением значения регулируемого параметра с верхним или нижним пределом. Если в данный момент времени тормозной момент находится на нижнем пределе (линия 1), то происходит его удержание на некоторое время, пока он не достигает верхнего предела (линия 2). После этого тормозной момент уменьшается до нижнего предела, и процесс регулирования повторяется до нулевого тормозного момента. При применении линейной зависимости тормозного момента в колесе от давления в тормозной камере, задача регулирования тормозного момента превращается в управление давлением в тормозной

камере. Фаза удержания или уменьшения тормозного момента на времени t_1 или t_2 соответствует закрытию или открытию выпускного электромагнитного (пилотного) клапана модулятора АБС на времени t_1 или t_2 (рисунок 3), определяемых на каждом цикле работы программы управления ЭБУ с точностью до миллисекунды. Для отладки алгоритмов управления пневматическим модулятором АБС изготовлен мини-стенд с отдельным микроконтроллером.

Адаптация управляющего алгоритма (рисунок 2) происходит при изменении механических и (или) электрических характеристик компонентов мехатронной системы, стиля вождения, весового состояния автомобиля и наклона дороги.

Реализация разработанного адаптивного алгоритма трогания грузового автомобиля с места на подъеме выполнена на испытательном стенде (ИС), позволяющем проводить испытания СПТ при данном алгоритме с имитацией реальных условий эксплуатации автомобиля. ИС находится в стендовом зале БНТУ, внешний вид которого представлен на рисунке 4.



1 – силовой агрегат, 2 – маховая масса, 3 – порошокый электромагнитный тормоз, 4 – упрощенная тормозная система, 5 – питающие болонь
Рисунок 4. – Общий вид испытательного стенда

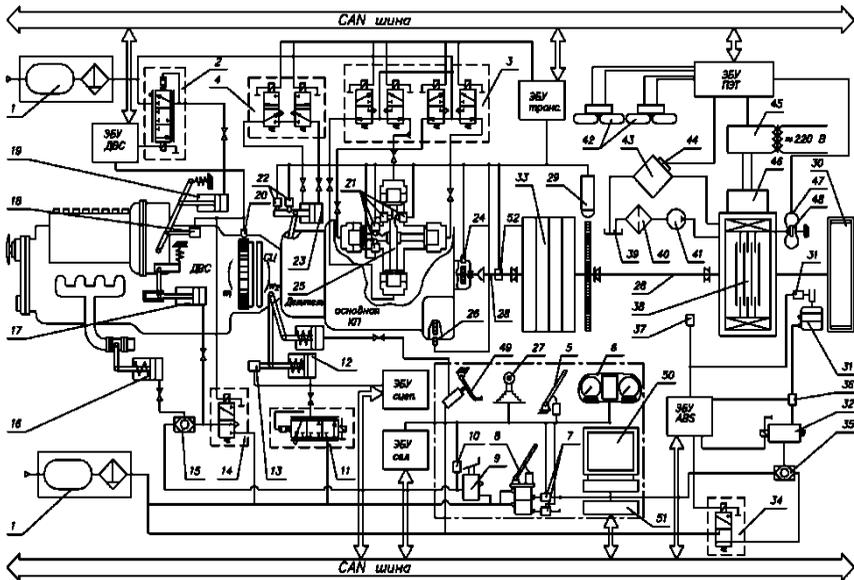
Принципиальная схема ИС изображена на рисунке 5. ИС включает в себя силовой агрегат и упрощенную тормозную систему исследуемого объекта, маховую массу, порошокый электромагнитный тормоз (ПЭТ), открытую программируемую контрольно-управляющую систему, пневматическую питающую часть и измерительную систему.

Аппаратными отличиями ИС от реального объекта исследования являются наличие дублирующего гидравлического контур управления сцеплением 49 (рисунок 5), позволяющего кардинально повысить надежность автоматизированной системы, открытая программируемая электронно-управляющая система, позволяющая реализовать разработанный алгоритм, имитатор 38 сопротивления движению автомобиля (ПЭТ), разработанный автором БДКМ и измерительная система, позволяющая регистрировать нужную информацию для оценки переходного процесса при отладке алгоритма трогания автомобиля. Данный БДКМ, состоящий из тензорезисторов, усилителей, беспроводной радиопередачи, микроконтроллеров и аккумуляторной батареи отличается от аналогов низкой себестоимостью изготовления, простотой конструкции и удобством в применении.

Вычисление оценочных показателей переходного процесса при трогании осуществлено с точностью до 5 % и с шагом 1 мс на основе полученных сигналов от:

– беспроводного датчика крутящего момента, позволяющего регистрировать значения крутящего момента на карданном валу в диапазоне 0...10 кН·м в реальном времени с частотой дискретизации 960 Гц и с точностью до 0,3 %;

– импульсных датчиков частоты вращения коленчатого вала двигателя (число зубьев 113), промежуточного вала коробки передач (число зубьев 27) и выходного вала (число зубьев 60).



1 – питающая часть пневмопривода; 2, 11 – ПЭМК управления соответственно топливоподачей дизельного двигателя и сцеплением; 3 – блок ЭМК управления исполнительным механизмом КП; 4 – блок ЭМК управления делителем; 5 – педаль акселератора с датчиком положения; 6 – органы управления и панель приборов; 7, 10, 36 – датчики давления; 8 – педаль тормоза с двухсекционным тормозным краном; 9 – клапан останова двигателя; 12, 16, 17, 19, 23, 25 – ИМ соответственно сцепления, моторного тормоза, выключения подачи топлива, рычага регулятора топливного насоса, КП и делителя; 13, 18, 22, 31 – датчики перемещения; 14 – ЭМК управления моторным тормозом и выключением подачи топлива; 15, 35 – двухмагистральный клапан; 20, 24, 26, 29 – датчики частоты вращения; 21 – концевые выключатели; 25 – исполнительный механизм КП; 27 – селектор режимов; 28 - карданная передача; 30 – тормозной барабан; 31 – тормозная камера; 32 - пневматический модулятор, 33 – маховая масса, 34 – ЭМК тормозной системы; 37 – датчик наклона дороги; 38 – порошковый электромагнитный тормоз; 39 – бакоч охлажденной жидкости ; 40 – фильтр; 41 – насос; 42 – вентиляторы; 43 – радиаторы; 44 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 45 – ЭБУ ПЭТ; 46 – клеммная коробка; 47 – динамометрическая скоба; 48 – тензометрические датчики; 49 – дублирующий контур управления сцеплением; 50 – персональный компьютер; 51 – CAN адаптер; 52 – бесконтактный датчик крутящего момента

Рисунок 5. – Принципиальная схема мехатронной системы управления силовым агрегатом и тормозом грузового автомобиля на испытательном стенде

Кроме того, остальные датчики позволяют отследить такие состояния наблюдаемых объектов с точностью до 2 %, как положения штоков, валов и педалей, давления в полостях ИМ топливоподдачи двигателя, фрикционного сцепления, КП, делителя, тормоза, развиваемый тормозной момент ПЭТ.

Имитация сопротивления движению автомобиля осуществляется порошковым электромагнитным тормозом с максимальным тормозным моментом 2500 Н·м. Тормозной момент ПЭТ регулируется автоматически при подаче ШИМ-сигнала от контроллера ПЭТ на затвор полевого транзистора. Деформация динамометрической скобы 47, пропорциональная развиваемому тормозному моменту, фиксируется комплектом тензометрических датчиков 48, что позволяет ввести обратную связь в системе управления ПЭТ (рисунок 5). Моментная характеристика порошкового тормоза изменяется в зависимости от скорости вращения маховой массы 33 и задаваемой величины дорожного сопротивления.

В **третьей главе** рассматриваются основные аспекты проведения компьютерного эксперимента по исследованию работоспособности СПТ при разработанном адаптивном алгоритме трогания грузового автомобиля с места на подъеме. Разрабатывается имитационная модель СПТ для исследования переходных процессов на компьютере, а также выбираются оценочные показатели переходного процесса (работа и мощность буксования сцепления, коэффициент динамичности и максимальное значение производного продольного ускорения автомобиля) для подтверждения работоспособности разработанного адаптивного алгоритма, определяются пороговые значения параметра обратной связи в цепи управления фрикционным сцеплением с помощью разработанной имитационной модели методом прямого подбора с шагом искомой величины 1 рад/с².

Вышеописанный алгоритм представляет собой сложный комплекс взаимодействий между механическими, пневматическими, электрическими и электронными компонентами. Поэтому для первоначальной оценки функциональной работоспособности разработанного алгоритма и предлагаемой стратегии управления агрегатов и узлов использовалась платформа моделирования Imagine.Lab AMESim версии R14 (Германия), позволяющая отрабатывать сложные алгоритмы управления и точно предсказывать комплексное функционирование интеллектуальных систем на ранних стадиях проектирования. Полученная имитационная модель (рисунок 6) СПТ является представлением реального физического объекта (рисунок 1).

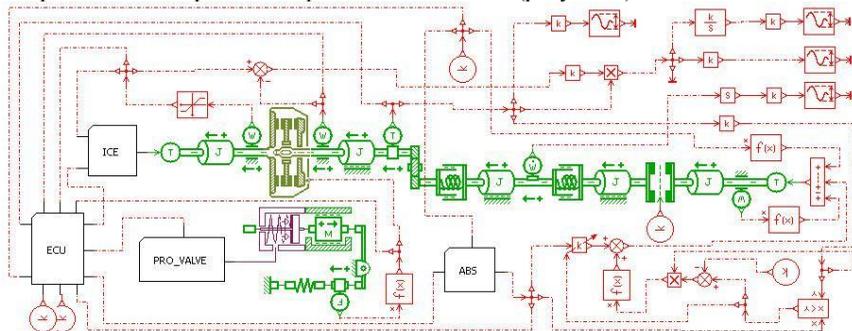
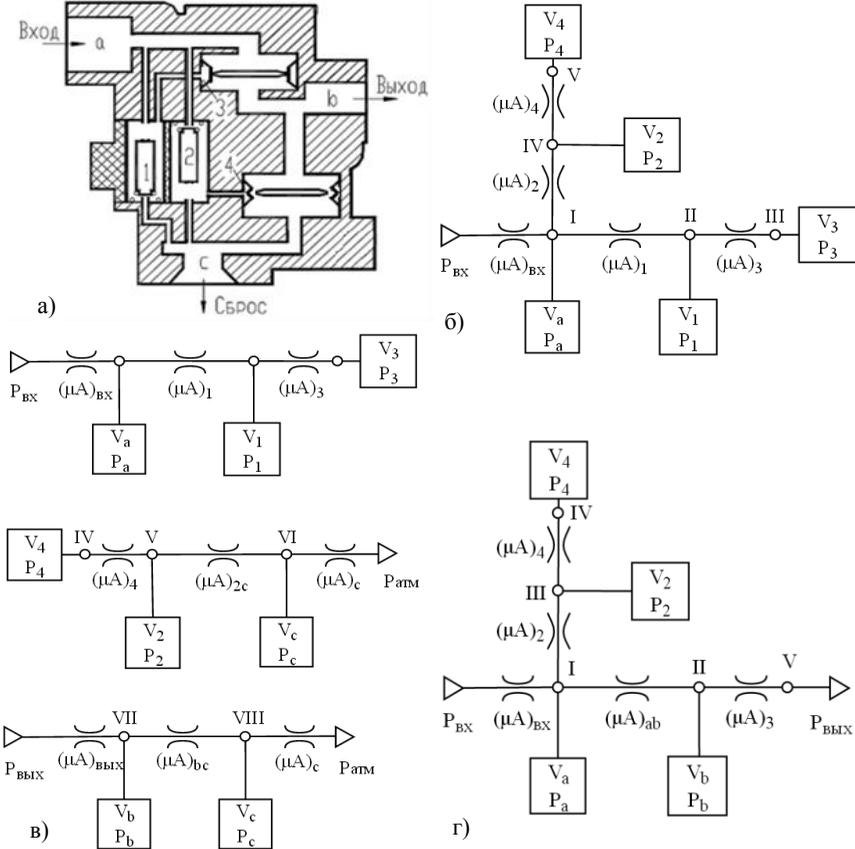


Рисунок 6. – Имитационная модель СПТ в AMESim

Математическое описание моделируемых объектов представлено в авторских работах. Для исследования переходного процесса в модуляторе при управлении давлением в тормозной камере по предложенным стратегии и принципу, составлены принципиальная и расчётные схемы пневматического модулятора АБС (рисунок 7).



а – принципиальная схема для расчета модулятора АБС; **б, в и г** – расчетные схемы модулятора АБС соответственно фазам увеличения, уменьшения и выдержки давления в тормозной камере; $V_1, P_1; V_2, P_2; V_3, P_3; V_4, P_4; V_a, P_a; V_b, P_b; V_c, P_c$ – объемы и давления в полостях, соответствующих их обозначениям на принципиальной схеме модулятора АБС; $(\mu A)_1, (\mu A)_2, (\mu A)_3, (\mu A)_4, (\mu A)_{ВХ}, (\mu A)_{ВЫХ}, (\mu A)_{bc}, (\mu A)_{2c}, (\mu A)_{c}, (\mu A)_{ab}$ – пропускные способности между соответствующими полостями по индексам

Рисунок 7. – Принципиальная и расчетные схемы модулятора АБС

Фазы работы модулятора описаны на основании баланса мгновенных расходов воздуха следующими системами дифференциальных уравнений (2, 3, 4):

– для фазы увеличения давления (рисунок 7, б):

$$\left. \begin{aligned}
 & (\mu A)_{ex} \cdot M \cdot P_{ex} \frac{P_{ex} - P_a}{N \cdot P_{ex} - P_a} - (\mu A)_2 \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_2}{N \cdot P_a - P_2} - (\mu A)_{ab} \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_b}{N \cdot P_a - P_b} - \\
 & \quad - V_a \frac{dP_a}{dt} = 0 \\
 & (\mu A)_{ab} \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_b}{N \cdot P_a - P_b} - (\mu A)_{\text{бвix}} \cdot M \cdot P_b \frac{P_b - P_{\text{бвix}}}{N \cdot P_b - P_{\text{бвix}}} - V_b \frac{dP_b}{dt} = 0 \\
 & \quad (\mu A)_4 \cdot M \cdot P_2 \frac{P_2 - P_4}{N \cdot P_2 - P_4} - V_4 \frac{dP_4}{dt} = 0 \\
 & (\mu A)_2 \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_2}{N \cdot P_a - P_2} - (\mu A)_4 \cdot M \cdot P_2 \frac{P_2 - P_4}{N \cdot P_2 - P_4} - V_2 \frac{dP_2}{dt} = 0 \\
 & \quad (\mu A)_{\text{бвix}} \cdot M \cdot P_{\text{бвix}} \frac{P_b - P_{\text{бвix}}}{N \cdot P_b - P_{\text{бвix}}} - V_{\text{бвix}} \frac{dP_{\text{бвix}}}{dt} = 0
 \end{aligned} \right\} (2)$$

– для фазы выдержки давления (рисунок 7, г):

$$\left. \begin{aligned}
 & (\mu A)_{ex} \cdot M \cdot P_{ex} \frac{P_{ex} - P_a}{N \cdot P_{ex} - P_a} - (\mu A)_2 \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_2}{N \cdot P_a - P_2} - (\mu A)_1 \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_1}{N \cdot P_a - P_1} - \\
 & \quad - V_a \frac{dP_a}{dt} = 0 \\
 & (\mu A)_1 \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_1}{N \cdot P_a - P_1} - (\mu A)_3 \cdot M \cdot P_1 \frac{P_1 - P_3}{N \cdot P_1 - P_3} - V_1 \frac{dP_1}{dt} = 0 \\
 & \quad (\mu A)_3 \cdot M \cdot P_1 \frac{P_1 - P_3}{N \cdot P_1 - P_3} - V_3 \frac{dP_3}{dt} = 0 \\
 & (\mu A)_2 \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_2}{N \cdot P_a - P_2} - (\mu A)_4 \cdot M \cdot P_2 \frac{P_2 - P_4}{N \cdot P_2 - P_4} - V_2 \frac{dP_2}{dt} = 0 \\
 & \quad (\mu A)_4 \cdot M \cdot P_2 \frac{P_2 - P_4}{N \cdot P_2 - P_4} - V_4 \frac{dP_4}{dt} = 0
 \end{aligned} \right\} (3)$$

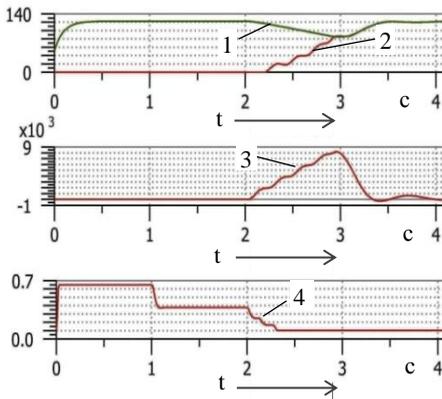
– для фазы сброса давления (рисунок 7, в):

$$\left. \begin{aligned}
 & (\mu A)_{ex} \cdot M \cdot P_{ex} \frac{P_{ex} - P_a}{N \cdot P_{ex} - P_a} - V_a \frac{dP_a}{dt} = 0 \\
 & (\mu A)_1 \cdot M \cdot P_a \frac{P_a - P_1}{N \cdot P_a - P_1} - (\mu A)_3 \cdot M \cdot P_1 \frac{P_1 - P_3}{N \cdot P_1 - P_3} - V_1 \frac{dP_1}{dt} = 0 \\
 & \quad (\mu A)_3 \cdot M \cdot P_1 \frac{P_1 - P_3}{N \cdot P_1 - P_3} - V_3 \frac{dP_3}{dt} = 0 \\
 & (\mu A)_4 \cdot M \cdot P_4 \frac{P_2 - P_4}{N \cdot P_2 - P_4} - (\mu A)_{2c} \cdot M \cdot P_2 \frac{P_2 - P_c}{N \cdot P_2 - P_c} - V_2 \frac{dP_2}{dt} = 0 \\
 & \quad (\mu A)_2 \cdot M \cdot P_2 \frac{P_2 - P_c}{N \cdot P_2 - P_c} - V_c \frac{dP_c}{dt} = 0 \\
 & \quad V_c \frac{dP_c}{dt} = 0 \\
 & (\mu A)_{ex} \cdot M \cdot P_{ex} \frac{P_{ex} - P_b}{N \cdot P_{ex} - P_b} - (\mu A)_{bc} \cdot M \cdot P_c \frac{P_c - P_{bc}}{N \cdot P_c - P_{bc}} - V_b \frac{dP_b}{dt} = 0
 \end{aligned} \right\} (4)$$

где M, N – постоянные функции расхода воздуха.

Результаты моделирования (рисунок 8) процесса трогания автомобиля с места на подъеме на базе платформы AMESim подтвердили работоспособность системы помощи троганию при использовании разработанного алгоритма и предлагаемой стратегии управления агрегатами и узлами. Адекватность разработанной модели подтверждена результатом стендовых испытаний.

С помощью разработанной модели, определены пределы темпа трогания и пороговые значения параметра обратной связи в цепи управления фрикционным сцеплением при трогании грузового автомобиля с места на подъеме с различными углами наклона дороги и темпами управления сцеплением. Данные значения определены методом прямого перебора с условием прекращения поиска по превышению критериев ограничений хотя бы по одному из 4-х вышеописанных оценочных показателей переходного процесса при управлении сцеплением.



1 и 2 – соответственно угловая скорость ведущей и ведомой частей сцепления, рад/с; 3 – крутящий момент на карданном валу, Н·м; 4 – давление в тормозной камере, МПа

Рисунок 8. – Результаты моделирования СПТ в AMESim

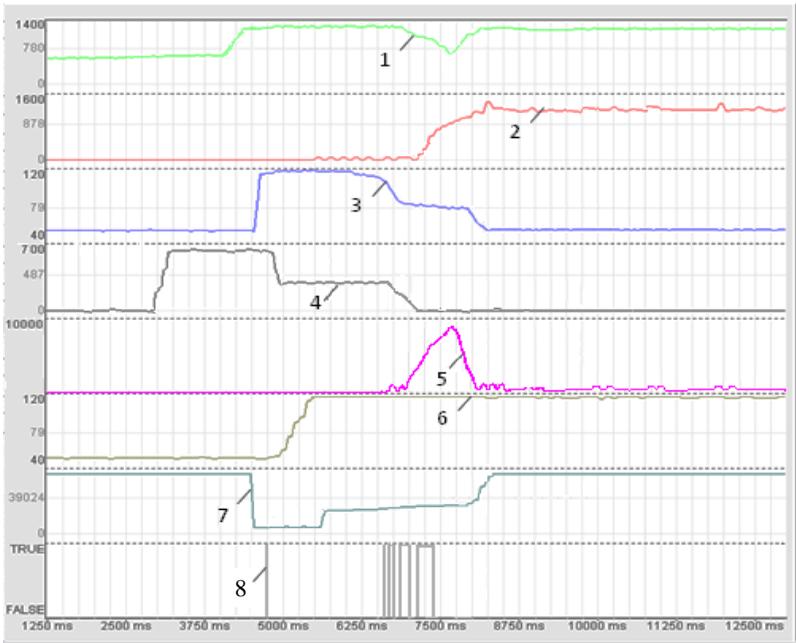
фрикционное сцепление выключается за 0,11 с, включение передачи в основной и дополнительных коробках происходит за 0,65 с, время уменьшения тормозного момента от нужного для поддержания автомобиля на подъеме до нулевого значения составляет 0,85 с.

При среднем заданном водителем темпе трогания автомобиля, рычаг выключения фрикционного сцепления перемещается из крайнего положения в исходное за 4,15 с, а время буксования фрикционных дисков составляет 0,8 с, что соответствует среднему темпу включения сцепления $k_c = 1,25 \text{ с}^{-1}$. При этом оценочные показатели процесса трогания с места имеют следующие значения: удельная работа и мощность буксования фрикционных элементов соответственно равны $13,7 \text{ Дж/см}^2$ и $25,2 \text{ Вт/см}^2$, коэффициент динамических нагрузок равен 1,75 и максимальное значение производного продольного ускорения автомобиля равно $20,5 \text{ м/с}^3$. На осно-

В четвертой главе приводятся результаты стендовых испытаний по оценке функциональной работоспособности СПТ и рекомендации по практическому использованию результатов исследования. Определяются диапазоны регулирования управляющих сигналов ИМ управления топливоподачей двигателя и сцеплением, а также погрешности измерительной аппаратуры.

Как видно из представленных результатов стендовых испытаний (рисунок 9), полученных имитацией процесса трогания с места грузового автомобиля на подъеме с наклоном дороги $\alpha = 10 \%$ при среднем желаемом водителем темпе трогания, весь процесс трогания в автоматическом режиме работы силового агрегата и тормозной системы происходит за время $t_{\text{общ}}$ около 5,5 с. При этом,

вании полученных результатов стендовых испытаний сделан вывод, что минимальный наклон дороги для активации системы помощи троганию целесообразно принять 3 %.



1, 2 – частота вращения соответственно коленчатого вала двигателя и выходного вала КП в приведении к первичному валу, мин^{-1} ; 3 – перемещение рычага выключения сцепления, бит; 4 – давление в тормозной камере, кПа; 5 – крутящий момент на карданом валу, Н·м; 6 – перемещение вилки переключения делителя, бит; 7 – числовое значение ШИМ-сигнала, бит; 8 – сигнал управления ЭМК модулятора АБС

Рисунок 9. – Результаты стендовых испытаний при имитации процесса трогания грузового автомобиля с места на подъеме ($\alpha = 10\%$)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны стратегия управления и принцип регулирования тормозного момента путем управления давлением воздуха в тормозной камере пневматическим модулятором для обеспечения качественного процесса трогания грузового автомобиля с места на подъеме [5, 15, 17, 19]. Данная стратегия отличается подбором индивидуальных параметров (времени открытия и закрытия ЭМК) на каждом цикле работы программы ЭБУ. Указанные стратегия и принцип управления основываются на сравнении текущего значения регулируемого параметра с его верхним и нижним пределами. Предложена автоматизированная система управления фрик-

ционному сцеплению с дублирующим пневмогидравлическим контуром на основе пневматического исполнительного механизма и пропорционального электромагнитного клапана [4].

2. Разработан адаптивный алгоритм безоткатного трогания грузового автомобиля с места на подъеме, при отладке которого на испытательном стенде показано что, значения оценочных показателей переходного процесса при трогании средним темпом ($1,25 \text{ с}^{-1}$) с места полностью груженого автомобиля КамАЗ-5320 на подъеме с наклоном дороги 10 % находятся в рекомендуемых пределах и составляют: удельная работа и мощность буксования фрикционных элементов соответственно равны $13,7 \text{ Дж/см}^2$ и $25,2 \text{ Вт/см}^2$, коэффициент динамических нагрузок равен 1,75 и максимальное значение производного продольного ускорения автомобиля равно $20,5 \text{ м/с}^3$. Адаптация алгоритма производится по изменениям технических состояний деталей мехатронной системы, весовому состоянию автомобиля, стилю вождения водителя и наклону дороги. Данный алгоритм отличается от существующих параметром обратной связи в цепи управления фрикционным сцеплением и способом регулирования давления в тормозной камере при трогании грузового автомобиля с места на подъеме [2, 7, 8, 12, 17].

3. Разработана имитационная модель системы помощи троганию на платформе AMESim, позволяющая реализовать на компьютере комплексные алгоритмы управления силовым агрегатом и тормозом при трогании грузового автомобиля на подъеме. Указанная модель состоит из субмодели двигателя, механической части трансмиссии, ПЭМК, пневматического модулятора АБС и включает в себя оригинальные параметры моделируемого объекта. Отличием данной модели от классических (или механических) является учет взаимодействий между механическими, пневматическими, электрическими и электронными моделируемыми элементами, узлами, агрегатами и системами. На основании разработанной модели определены пороговые значения параметра обратной связи в цепи управления фрикционным сцеплением при трогании автомобиля с места на подъеме в автоматическом режиме работы силового агрегата и тормоза. Данные значения используются для программирования микроконтроллеров при отладке разработанного адаптивного алгоритма трогания автомобиля с места на подъеме. В случае трогания полностью груженого автомобиля на подъеме 10 % со средним темпом ($1,25 \text{ с}^{-1}$) порог параметра обратной связи составляет 85 рад/с^2 [2, 7, 8, 9, 12, 18].

4. Разработана методика обоснования параметров бесконтактного датчика крутящего момента, отличающегося от аналогов способом выбора беспроводной передачи информации в реальном времени. БДКМ, состоящий из тензорезисторов, усилителей, беспроводной радиопередачи, микроконтроллеров и аккумуляторной батареи обладает простотой конструкции, низкой себестоимостью изготовления и удобством в применении при допустимых характеристиках. Датчик позволяет регистрировать значения крутящего момента на карданном валу в диапазоне $0 \dots 10 \text{ кН}\cdot\text{м}$ в реальном времени с точностью до 0,3 % [6, 14, 16, 18].

5. Проведены стендовые испытания для реализации разработанного адаптивного алгоритма трогания автомобиля с места на подъеме и подтверждения адекватности разработанной имитационной модели мехатронной системы управления силовым агрегатом и тормозом. Базой для проведения экспериментальных исследований является стенд, включающий такие основные компоненты, как силовой агрегат

грузового автомобиля, программируемую контрольно-управляющую систему, измерительную систему и упрощенную тормозную систему. Исследованы режимы трогания грузового автомобиля с места при различных наклонах дороги в зависимости от темпа управления фрикционным сцеплением. Относительное отклонение данных стендовых испытаний и результатов моделирования процессов трогания грузового автомобиля с места на подъеме находится в пределах 5 %, что подтверждает адекватность разработанной имитационной модели. В результате стендовых испытаний установлено, что минимальный наклон дороги для активации системы помощи троганию составляет 3 % [1, 3, 10, 11, 13, 14, 18].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Методика проектирования и изготовления бесконтактного датчика крутящего момента передана компании SOJI ELECTRONIC CO., LTD (Вьетнам) для реализации в производстве.

2. Стратегия управления и принцип регулирования давления сжатого воздуха в пневмокамере переданы компании LISA CONTROL TECHNOLOGY CO., LTD (Вьетнам) для проектирования пневматических систем управления.

3. Изготовленный мини-стенд и разработанный адаптивный алгоритм трогания грузового автомобиля с места на подъеме используются в учебном процессе при изучении дисциплины «Электронные системы управления силовым агрегатом автомобиля» (учебная программа № УД-АТФ12-17/р от 28.12.2012 г. и № УД-АТФ12-22/р от 12.05.2017 г.) специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение (электроника)».

4. По результатам работы подана заявка на выдачу евразийского патента «Система помощи троганию грузового автомобиля и автопоезда с места на подъеме без откатывания» (заявка от 02 ноября 2018 г. № 2018/ЕА/0085) [20].

5. Разработанный адаптивный алгоритм трогания грузового автомобиля с места на подъеме может использоваться для разработки мехатронной системы управления грузовым автомобилем или дооснащения уже разработанной системы без функции трогания на подъеме.

6. Разработанная имитационная модель на платформе AMESim может использоваться в дальнейших исследованиях автоматизированной системы управления грузовым автомобилем на начальном этапе проектирования.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь

1. Электронное управление топливоподачей дизельного двигателя на основе программного ПИД-регулирования / А. Г. Баханович, В. А. Кусяк, А. Н. Гурин, Ле Ван Нгиа // Наука и техника. – 2017. – № 1. – С. 28–37.

2. Руктешель, О. С. Имитационная модель автоматизированного силового агрегата грузового автомобиля для анализа процесса трогания с места / О. С. Руктешель, В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа // Изобретатель. – 2017. – № 3 (207). – С. 33–38.

3. Баханович, А. Г. Исследование работоспособности электронной системы управления порошковым электромагнитным тормозом / А. Г. Баханович, В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа // Механика машин, механизмов и материалов. – 2018. – № 1. – С. 21–28.

4. Современные автоматизированные системы управления фрикционными сцеплениями грузовых автомобилей и автопоездов / А. Г. Баханович, О. С. Руктешель, В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа // *Новости науки и технологии*. – 2018. – № 2. – С. 45–59.

5. Ле, Ван Нгиа Управление пневматическим модулятором АБС при трогании грузового автомобиля с места на подъеме без отката в автоматическом режиме работы силового агрегата / Ле Ван Нгиа // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2018. – № 2. – С. 31–38.

6. Ле, Ван Нгиа Опытный образец бесконтактного датчика крутящего момента на карданном валу грузового автомобиля / Ле Ван Нгиа, Нго Фьонг Ле, Нгуен Чонг Хоан // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2018. – № 3. – С. 59–66.

7. Ле, Ван Нгиа Обратная связь в цепи управления автоматизированным фрикционным сцеплением грузового автомобиля / Ле Ван Нгиа // *Наука и техника*. – 2018. – № 5. – С. 421–431.

Материалы конференций

8. Le, Van Nghia A research on start-up clutch control for AMT with AMESim platform / Le Van Nghia, V. A. Kusyak, Nguyen Trong Hoan // paper from the 2nd National Conference on Mechanical Engineering and Automation, 7–8 October, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam ; ed: Nguyen Van Khang, Nguyen Quang Hoang. – Hanoi : HUST, 2016. – 188–196 p.

9. Кусяк, В. А. Моделирование системы управления исполнительным механизмом фрикционного сцепления на базе платформы AMESim / В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа, А. Н. Гурин // *Наука – образованию, производству, экономике : материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25 апреля 2016 г. : в 4 т. / редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калининchenko*. – Минск : БНТУ, 2016. – Т. 2. – С. 8.

10. Кусяк, В. А. Электронная система управления порошковым электромагнитным тормозом на основе тиристорного привода / В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа, А. Н. Гурин // *Новые технологии и материалы, автоматизация производства : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 2–3 ноября 2016 г. / редкол.: П. С. Пойта, В. С. Рубанов [и др.]*. – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 205–208.

11. Электронная система управления порошковым электромагнитным тормозом на основе транзисторного ключа / А. Г. Баханович, В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа, А. Н. Гурин // *Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий : материалы Всероссийской Междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 14–15 ноября 2016 г. / редкол.: М. В. Драпалюк, И. М. Баргенов [и др.]*. – Воронеж : ВГЛТУ, 2016. – № 5, Ч. 3 (25–3) – С. 199–205.

12. Le, Van Nghia The research on threshold values determination of one-parameter feedback in the automated friction clutch control circuit for truck start-up process / Le Van Nghia, V. A. Kusyak, T. H. Nguyen // paper from the 10th National Conference on Mechanical Engineering, 8–9 December, Le Quy Don Technical University and Vietnam Association of Mechanic, Hanoi, Vietnam. – Hanoi : LQDTU, 2017. – 25–32 p.

13. Широотно-импульсная модуляция в системах управления порошковыми тормозами / О. С. Руктешель В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа, А. Н. Гурин // *Наука – образова-*

нию, производству, экономике : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20 апреля 2017 г. : в 4 т. / редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск : БНТУ, 2017. – Т. 2. – С. 12.

14. Ле, Ван Нгиа Беспроводная передача данных при измерении крутящего момента на карданом валу грузового автомобиля // Ле Ван Нгиа, О. С. Руктешель // Автомобиле- и тракторостроение : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14–18 мая 2018 г / редкол.: Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 30–33.

15. Ле, Ван Нгиа Стратегия управления пневматическим модулятором АБС при системе помощи троганию грузового автомобиля с места на подъеме без откатывания / Ле Ван Нгиа, Ч. Х. Нгуен, К. Г. Барковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й Междунар. науч.-техн. конф. , Минск, 24 апреля 2018 г. : в 4 т. / редкол.: С. В. Харитончик, А. М. Маляревич, А. С. Калиниченко. – Минск : БНТУ, 2018. – Т. 2. – С. 5.

16. Ле, Ван Нгиа Беспроводный датчик крутящего момента на вращающихся валах / Ле Ван Нгиа // VII Форум вузов инженерно-технологического профиля : материалы Форума проектов программ Союзного государства, Минск, 22–26 октября 2018 г. / Белорус. нац. техн. ун-т – Минск : БНТУ, 2018. – С. 95–98.

Тезисы докладов

17. Баханович, А. Г. Алгоритм трогания грузового автомобиля с места на подъеме без откатывания / А. Г. Баханович, В. А. Кусяк, В. Н. Ле // LXXII-я Междунар. науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и работников структурных подразделений университета : тез. докл. LXXII-й Междунар. науч.-техн. конф., Киев, 11 мая 2016 г. / редкол.: М. Ф. Дмитриченко, М. М. Дмитрієв, М. О. Білякович. – Киев : НТУ, 2016. – С. 44.

18. Кусяк, В. А. Мультидисциплинарная модель для анализа процесса трогания грузового автомобиля на подъеме без откатывания на базе платформы AMESim / В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа // LXXIII-я Междунар. науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и работников структурных подразделений университета : тез. докл. LXXIII-й Междунар. науч.-техн. конф., Киев, 12 мая 2017 г. / редкол.: М. Ф. Дмитриченко, М. М. Дмитрієв, М. О. Білякович. – Киев : НТУ, 2017. – С. 45.

19. Руктешель, О. С. Выбор частоты срабатывания модулятора АБС при трогании грузового автомобиля с места на подъеме / О. С. Руктешель, В. А. Кусяк, Ле Ван Нгиа // LXXIV-я Междунар. науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и работников структурных подразделений университета : тез. докл. LXXIV-й Междунар. науч.-техн. конф., Киев, 15 мая 2018 г. / редкол.: М. Ф. Дмитриченко, М. М. Дмитрієв, М. О. Білякович. – Киев : НТУ, 2018. – С. 67.

Заявка патента на изобретение

20. Система помощи троганию грузового автомобиля и автопоездов с места на подъеме без откатывания : Евразийская заявка патента на изобретение : № 2018/EA/0085 / Ле Ван Нгиа; заявитель БНТУ; заявл. 02.11.2018.

РЭЗІЮМЭ

Ле Ван Нгіа

Кіраванне крананні на ўздыме грузавага аўтамабіля з аўтаматызаванай трансмісіяй на аснове адаптыўнага алгарытму

Ключавыя словы: адаптыўны алгарытм, руханне з месца на ўздыме, сістэма дапамогі пры руханні з месца, пнеўматычныя электрамагнітныя клапаны, мадэляванне, выпрабавальны стэнд сілавага агрэгата.

Прадмет даследавання: забеспячэнне аўтаматычнага кіравання руханнем з месца на ўздыме грузавага аўтамабіля шляхам распрацоўкі адаптыўнага алгарытму кіравання цягава-тармазным рэжымам.

Метады даследавання: сістэмны аналіз, метады імітацыйнага мадэлявання з складаннем матэматычнага апісання, класічная тэорыя па механіцы, пнеўматыцы, электрыцы і электроніцы, тэорыя планавання эксперыментаў. Вынікі даследавання падцверджаны метадам фізічнага эксперыменту.

Асноўная апаратура: сілавы агрэгат грузавага аўтамабіля КамАЗ 5320, электронная педаль VSENSE Global MT7000, парашковы электрамагнітны тормаз ПТ2500, электронныя блокі кіравання Ifm CR2500, CR2511 і CR2012, мікракантролеры STM32F103C8T6, персанальны кампутар, электрамагнітныя клапаны SMC VEP-3121, VO-307, датчыкі частаты кручэння 1GQ8001, датчык круцільнага моманту, датчыкі становішча МУ-615-А, датчыкі ціску ДТМ-6П і іншыя.

Атрыманыя вынікі і іх навізна:

– распрацаваны прынцып рэгулявання тармазнога моманту з прапанаванай стратэгіяй кіравання электрамагнітнымі клапанамі пнеўматычнага мадулятара АБС пры руханні з месца грузавага аўтамабіля на ўздыме;

– распрацаваны адаптыўны алгарытм рухання з месца грузавага аўтамабіля на ўздыме;

– распрацавана імітацыйная мадэль сістэмы дапамогі руханню з месца на ўздыме грузавага аўтамабіля;

– вызначаны парогавыя значэнні параметру зваротнай сувязі ў ланцугу кіравання фрыкцыйным счапленнем пры руханні з месца грузавага аўтамабіля на ўздыме;

– распрацавана методыка абгрунтавання параметраў бескантактавага датчыка круцільнага моманту.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны пры практаванні мехатронных сістэм кіравання сілавым агрэгатам і тормазам грузавых аўтамабіляў і аўтацягнікоў.

Вобласць ужывання: грузавы аўтамабіль і аўтацягнік з аўтаматызаванай механічнай трансмісіяй.

РЕЗЮМЕ

Ле Ван Нгиа

Управление троганием на подъеме грузового автомобиля с автоматизированной трансмиссией на основе адаптивного алгоритма

Ключевые слова: адаптивный алгоритм, трогание на подъеме, система помощи троганию, пневматические электромагнитные клапаны, моделирование, испытательный стенд силового агрегата.

Цель работы: обеспечение автоматического управления троганием с места на подъеме грузового автомобиля путем разработки адаптивного алгоритма управления тягово-тормозным режимом.

Методы исследования: системный анализ, методы имитационного моделирования с составлением математического описания, классическая теория по механике, пневматике, электрике и электронике, теория планирования экспериментов. Результаты исследования подтверждены методом физического эксперимента.

Основная аппаратура: силовой агрегат грузового автомобиля КамАЗ-5320, электронная педаль VSENSE Global MT7000, порошковой электромагнитной тормоз ПТ2500, электронные блоки управления Ifm CR2500, CR2511 и CR2012, микроконтроллеры STM32F103C8T6, персональный компьютер, электромагнитные клапаны SMC VEP-3121, VO-307, датчики частоты вращения 1GQ8001, датчик крутящего момента, датчики положения МУ-615-А, датчики давления ДТМ-6П и другие.

Полученные результаты и их новизна:

– разработан принцип регулирования тормозного момента с предложенной стратегией управления электромагнитными клапанами пневматического модулятора АБС при трогании грузового автомобиля с места на подъеме;

– разработан адаптивный алгоритм трогания грузового автомобиля с места на подъеме;

– разработана имитационная модель системы помощи троганию на подъеме грузового автомобиля;

– определены пороговые значения параметра обратной связи в цепи управления фрикционным сцеплением при трогании грузового автомобиля с места на подъеме;

– разработана методика обоснования параметров бесконтактного датчика крутящего момента.

Рекомендации по использованию: полученные результаты могут быть использованы при проектировании мехатронных систем управления силовым агрегатом и тормозом грузовых автомобилей и автопоездов.

Область применения: грузовой автомобиль и автопоезд с автоматизированной механической трансмиссией.

SUMMARY

Le Van Nghia

Hill start-up control of a truck with automated transmission based on adaptive algorithm

Keywords: adaptive algorithm, hill start-up, hill start assist system, pneumatic solenoid valves, simulation, power unit test stand.

Work objective: automatic control of starting-up truck on hill with an adaptive algorithm for controlling the traction-braking mode.

Research methods: systematic analysis, simulation methods with using mathematical description, classical theory of mechanics, pneumatics, electrical and electronics, theory of experimental planning. The results of the study are confirmed by physical experiments.

Basic equipment: power unit of the truck KamAZ-5320, electronic pedal VSENSE Global MT7000, powder electromagnetic brake PT2500, electronic control units Ifm CR2500, CR2511 and CR2012, microcontrollers STM32F103C8T6, personal computer solenoid valves SMC VEP-3121, VO-307, speed sensors 1GQ8001, torque sensor, positions sensors MU-615-A, pressure sensors DTM-6P and others.

Obtained results and their novelty:

- a principle to regulate braking torque using proposed control strategy of the electromagnetic valves of pneumatic modulator ABS for starting-up truck on hill;
- an adaptive algorithm for starting-up truck on hill;
- an simulation model of hill start assist system for truck;
- threshold values of the feedback in friction clutch control for starting-up truck on hill;
- a method to validate parameters of non-contact torque sensor.

Recommendation on application: the obtained results can be used in designing of mechatronic control systems for the truck's power unit and brake.

Scope: truck and road train with automated mechanical transmission.

Научное издание

ЛЕ
Ван Нгиа

**УПРАВЛЕНИЕ ТРОГАНИЕМ НА ПОДЪЕМЕ ГРУЗОВОГО
АВТОМОБИЛЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСМИССИЕЙ
НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.05.03 – колесные и гусеничные машины

Подписано в печать 10.04.2018. формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,28. Уч.–изд. л. 1,00. Тираж 75. Заказ 226.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск.