

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»**

*На правах рукописи*

**ЩЕРБАКОВА ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА**

**МЕТОДИКА СТЕНДОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ПНЕВМОПРИВОДОВ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ СЕДЕЛЬНЫХ  
АВТОПОЕЗДОВ**

Специальность: 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
д.т.н., профессор Евтюков С.А.

Санкт-Петербург – 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ.....	13
1.1 Обзор и анализ проблем безопасности дорожного движения в РФ и мире в целом.....	13
1.2 Обоснование выбора типа автопоезда для исследования его тормозных свойств.....	18
1.3. Анализ показателей эффективности функционирования РТС САП.....	21
1.4 Анализ существующих методов и средств контроля технического состояния РТС САП.....	24
1.5 Обзор и анализ приводов тормозных систем .....	32
1.6 Определение задач диссертационного исследования и выводы по главе 1.....	35
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	40
2.1. Математические модели движения ТС.....	40
2.1.1 Обзор тормозных свойств автопоездов.....	45
2.2 Обоснование расчетной модели исследования процесса экстренного торможения САП, достаточную для достижения цели диссертационного исследования.....	51
2.3 Факторы, вызывающие несимметрию тормозных сил по бортам САП, влияющую на механизм их складывания и причины возникновения ДТП, как факторы, вышедшие за допустимые по БДД границы.....	56
2.4 Обоснование механизма формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающего «опасные» факторы возникновения ДТП.....	59
2.5 Обоснование диагностирования тормозной системы САП на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem.....	63
2.6 Выводы по главе 2.....	67

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	70
3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований.....	70
3.2 Натурный эксперимент для опробования методики.....	70
3.3 Структура средств технического обеспечения исследуемой задачи.....	82
3.4 Разработка методики решения задач предупреждения причин складывания САП и обоснования допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.....	84
3.5 Разработка методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки его свойств.....	85
3.6 Выводы и результаты экспериментальных исследований.....	93
ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	96
4.1 Применение методики предупреждения причин складывания САП с локализацией неисправности пневмоприводов РТС.....	97
4.1.1 Локализация зоны максимально допустимого диагностического параметра и регулировка РТС.....	97
4.1.2 Определение низкой эффективности работы колесного тормозного механизма. Локализация неисправности регулировке РТС.....	100
4.1.3 Оценка влияния времени срабатывания тормозных механизмов полуприцепа на безопасность движения ТС.....	100
4.2 Применение методики решения задач предупреждения причин складывания САП и обоснования допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.....	102
4.3 Экспериментальные исследования адекватности модели и методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки его свойств.....	104
4.4 Расчет экономической эффективности от применения разработанных методик.....	104
4.5 Выводы по главе 4.....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	106

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ.....	110
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	125

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Организация деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения (БДД) в Российской Федерации (РФ) относится к трудно разрешимым задачам. К ним относят задачи предупреждения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых участвуют и седельные автопоезда (САП). Такие САП представляют собой особый класс шарнирно-сочленённых автотранспортных средств (АТС), перевозящих различные виды грузов-сыпучих, жидких, тяжеловесных, крупногабаритных. САП обладают максимальными, допустимыми для дорог общего пользования, массово-габаритными параметрами, высокой энергоёмкостью и скоростью движения. Как следствие, ДТП с их участием, отличаются высоким уровнем особо тяжких последствий, как правило, гибелью, травмированием людей и тяжёлыми видами наносимого ущерба.

Особым и наиболее сложным видом ДТП с участием САП являются происшествия, возникающие в результате их торможения с выходом из занимаемой полосы (складывания) – как конечной причины тяжких ДТП. Для предупреждения этой причины, а, значит, снижения смертности в дорожном движении, априори необходимы знания, как того требует ст. 2 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 26.12.1995 № 196-ФЗ – о полном множестве первопричин, вызывающих бортовую несимметрию действия тормозных сил, которая вызывает последующее ДТП САП. Поэтому необходимы исследования механизмов предупреждения этих причин.

В практике диагностирования к этим механизмам относят периодическую оценку максимальных значений тормозных сил на каждом колесе САП и их разницы по бортам, измеряемой в процентах в стендовых условиях, а также оценку общесистемных (объёмных) утечек сжатого воздуха в элементах конструкции пневмоприводов тормозных механизмов – по скорости падения в них давления. В общемировой и отечественной практике такая оценка осуществляется в нормативные сроки диагностированием на барабанных роликовых автоматизированных стендах, исключая влияние на точность оценки

эффективности тормозных систем человеческого фактора. Пневматические тормозные системы АТС при стендовом контроле представляются «черным ящиком». В нем измерению подлежит входной сигнал – сила на тормозной педали, и выходной – на затормаживаемых колесах тормозная сила. Связь между этими сигналами в начальной и конечной фазах контроля не содержит полной информации о внутреннем состоянии этого «ящика» – так же, как и объемные утечки сжатого воздуха. Отсутствие методических и технических средств предупреждения ДТП, в режиме торможения диктуют необходимость решения задачи исследования влияния внутрисистемных факторов технического состояния и рабочих процессов в рабочей тормозной системе (РТС) САП на возникновение тяжелых ДТП.

Поиск решения указанной, ставившейся и ранее, задачи предупреждения ДТП, в режиме торможения остаются и в настоящее время вне поля зрения науки и практики обеспечения БДД с участием САП. Не доведены до практического приложения исследования по оценке влияния таких факторов, как скорость начала торможения, несимметрия при размещении грузов в полуприцепах относительно их продольных осей, состояние контакта и сцепления колес с дорожной поверхностью, технического состояния функциональных элементов пневматических тормозных систем, влияющие на процессы затормаживания каждого отдельно взятого колеса и т.п. В практике остаются не учтенными такие факторы – как время нарастания давления сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвига по времени этих максимумов для разных колес, износа и состояния пар трения в тормозных механизмах, величины степени блокировки затормаживаемых колес, так же влияющих на сдвиг указываемых максимумов по бортам САП, их разницу и др.

Множество факторов, влияющих на процесс торможения САП, и в итоге, на уровень дорожной опасности и проблемы организации трудоемких дорожных и стендовых исследований, делает целесообразным выполнение исследований механизма влияния на нее не доступных для оценки ранее параметров рабочих процессов функционирования пневматических приводов РТС САП – с целью

разработки (обоснования) соответствующего методического и технического обеспечения задач стендового диагностирования пневматических тормозных систем САП.

Потребность в разработке требуемых новых знаний полному множеству требуемых средств предупреждения причин складывания САП подтверждается внедрением в мировую практику инструментов дистанционного мониторинга параметров рабочих процессов функционирования тормозных систем в режимах торможения САП, количественной оценкой этих параметров, их накопления, прогнозирования и т.д. Т.е. определяют потребность в накоплении знаний, статистической оценке параметров рабочих процессов и соответствующего методического обеспечения БДД по поставленной в диссертации задаче исследования влияния технического состояния пневмопривода тормозных систем САП.

Изложенное позволяет считать актуальной тему исследования. Она определяется востребованностью действующей практикой, накопления знаний по теме исследования, потребностью разработки механизмов предупреждения причин складывания САП и оценке допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.

#### **Степень разработанности темы исследования.**

Вопросы торможения автомобилей и диагностирования технического состояния автомобилей исследовались российскими учеными Н.А. Бухариным, Е.А. Чудаковым, П.В. Аксеновым, Д.А. Антоновым, М.С. Высоцким, А.И. Гришкевичем, Я.Х. Закиным, А.С. Литвиновым, Г.А. Смирновым, Я.Е. Фаробиным, М.М. Щукиным Ю.В. Баженовым, Ю.К. Беляевым, Ю.И. Боровских, В.А. Богатыревым, А.В. Бойко, А.П. Болдиным, В.В. Болотиным, Н.И. Веревкиным, В.Г. Власовым, В.Г. Дыгало, Д.И. Исаевым, В.П. Калявиным, В.В. Котовым, С.В. Курочкиным, Л.В. Мирошниковым, Р.А. Меламудом, С.М. Мороз, К.Л. Навроцким, В.Л. Новоселовым, А.Г. Осиповым, Г.В. Осиповым, П.П. Пархоменко, Е.М. Портнягиным, В.И. Пал, А.Г. Сергеевым, А.А. Смолиным, Д.С. Спиридоновым, А.И. Федотовым, А.М. Харазовым, А.В. Шарыповым,

О.С. Яньковым, и зарубежными учеными H.J. Mäurer R. Bosch, R.D. Ervin, P.S. Fancher, T.D. Gillespie, A.L. Dunn, G.J. Heydinger, D.A. Guenther, S.B. Zagorski, Ch. Santhosh и компаниями МАНА, Knorr Bremse, Siemens; вопросы безопасности дорожного движения и реконструкции дорожно-транспортных происшествий исследовались А.М. Абрамовым, Б.Е. Боровским, В.Г. Григоряном, В.Н. Добромировым, С.А. Евтюковым, В.А. Илларионовым, В.А. Корчагиным, П.А. Кравченко, В.И. Новиковым, В.А. Пучкиным, Ю.Б. Суворовым. Однако вопросы исследования торможения САП не получили развития.

При рассмотрении перечисленных выше факторов для проведения расчетов принималась велосипедная модель действующих сил, т.е. без учета крена, не требующая определения тормозных сил по бортам. При этом тормозные силы, прилагаемые тормозными механизмами правого и левого колес оси, сводились к равнодействующей, а их векторная разность определяла направление действия момента складывания САП.

Таким образом, анализ работ, выполненных перечисленными учеными показал, что процесс складывания САП ранее рассматривался, но в их исследование не получило дальнейшего развития до уровня, способного обеспечить предупреждение складывания САП.

#### **Цель и задачи исследования.**

Цель исследования – разработать методику стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП, как средство способного обеспечить предупреждение причин ДТП при торможении РТС САП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать расчетную модель исследования процесса экстренного торможения САП, достаточную для достижения цели диссертационного исследования;

2. Обосновать факторы, вызывающие несимметрию тормозных сил по бортам САП, влияющую на механизм их складывания и причины возникновения ДТП, как факторы, вышедшие за допустимые по БДД границы;

3. Обосновать механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП;

4. Выполнить экспериментальные исследования параметров процесса торможения РТС САП для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам САП на механизм складывания САП;

5. Обосновать структуру средств технического обеспечения исследуемой задачи;

6. Разработать методику решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обосновать допустимое по БДД техническое состояние по факторам для пневмопривода каждого колеса САП;

7. Разработать методику стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки свойств, как совокупность решения перечисленных выше частных задач.

**Объектом исследования** является методическое обеспечение технологии предупреждения факторов складывания САП при их торможении по фактору технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов.

**Предметом исследования (разработки)** является методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП.

**Научная новизна исследования:**

1. Определена расчетная модель сил, действующих на САП при его торможении, достаточная для цели диссертационного исследования;

2. Установлены факторы, влияющие на механизм складывания САП и причины возникновения ДТП;

3. Обоснован механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП;

4. Выполнены экспериментальные исследования параметров процесса торможения РТС САП и оценка влияния несимметрии тормозных сил по бортам САП на механизм складывания САП;

5. Обоснована структура средств технического обеспечения исследуемой задачи;

6. Разработана методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП;

7. Разработана методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки его свойств.

**Теоретическая значимость исследования** состоит в анализе функции нарастания значений давления рабочего тела в пневмоприводе РТС во времени, что позволяет реализовать устранение несимметрии действия тормозных сил с учетом реального технического состояния РТС САП при его контроле.

**Практическая значимость исследования** заключается во внедрении предложенных методик в процесс технического диагностирования, что позволяет эффективно контролировать качество регулировки тормозных механизмов при техническом обслуживании (ТО), обнаруживать зарождающиеся дефекты в пневмоприводах САП и предупреждать предпосылки возникновения ДТП.

**Методологической основой** диссертационной исследования являются экспериментальные и теоретические методы, такие как: системный анализ, метод математического моделирования, метод статистической проверки гипотез, методы теории эксперимента, оценка технического состояния РТС САП осуществлялась натурными экспериментами.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Расчетная модель сил, действующих на САП при его торможении;
2. Факторы, влияющие на механизм складывания САП и причины возникновения ДТП;
3. Механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП;
4. Экспериментальные исследования параметров процесса торможения РТС САП и оценка влияния несимметрии тормозных сил по бортам САП на механизм складывания САП;
5. Структура средств технического обеспечения исследуемой задачи;

6. Методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП;

7. Методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальных свойств.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно п. 7 «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

**Достоверность результатов** исследования обоснована высокой дискретностью измерений, заложенной в конструкцию силового роликового тормозного стенда IW 7 Eurosystem линии технического контроля и ее программного обеспечения; подтверждена сходимостью полученных теоретических и экспериментальных результатов исследования.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследования используются ООО «Центр контроля технического состояния транспортных средств» и Центром «АвтоЭксперт» для обеспечения высокого уровня контроля технического состояния ТС и расширяют их возможности оценки технического состояния тормозной системы ТС.

Результаты диссертационной работы внедрены в Центре повышения квалификации автомобильно-дорожного факультета Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) при профессиональной переподготовке и повышении квалификации специалистов по программе «Судебная инженерно-техническая экспертиза», «Эксперт-техник по независимой технической экспертизе транспортных средств» (по специализации - Судебная автотехническая экспертиза), в практической деятельности Института безопасности дорожного движения (ИБДД), а также используются в учебном процессе при подготовке студентов по направлению 23.03.01, 23.04.01 «Технология транспортных процессов», профиль подготовки «Организация и

безопасность движения», а также 23.03.03, 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, профиль подготовки «Эксплуатация автотранспортных средств, дорожных и строительных машин».

**Апробация результатов.** Основные положения работы докладывались и обсуждались на конференциях: 70-я научная конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ, 2014 г.; 68-я международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых, Санкт-Петербург, 2015 г.; III-я международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении», Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, 2015 г.; 69-ая межвузовская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства», Санкт-Петербург, 2016 г.; 71–74 научные конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ, 2015–2018 гг.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы отражены в 7 печатных работах, в том числе 6 работах, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация изложена на 151 странице печатного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и источников, включающего 140 источников, и семи приложений на 27 страницах. В работе представлены 51 рисунок, 26 таблиц и 61 формула.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ

## 1.1 Обзор и анализ проблем безопасности дорожного движения в РФ и мире

Проблема аварийности на автомобильном транспорте рассматривается Правительством РФ как одна из опасных угроз государству. Согласно ст. 2 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 26.12.1995 № 196-ФЗ «БДД – состояние данного процесса, отражающее степень защищенности его участников от ДТП и их последствий». Дорожно-транспортный травматизм находится на восьмом месте в списке ведущих причин смертности в мире [22], что характеризует ДТП как выраженную угрозу для жизни и здоровья человека. ДТП является одним из главных генераторов смертности людей в мире. Степень защищенности участников дорожного движения от ДТП находится на низком уровне и с увеличением мирового парка ТС этот показатель снижается. Организация Объединенных Наций характеризует ситуацию в сфере БДД как глобальный кризис. опережение возрастания уровня автомобилизации в крупных городах по отношению к возникновению характерных проблем, росту числа ДТП и пострадавших в них.

В 2010 году правительства стран всего мира провозгласили Десятилетие действий по обеспечению БДД [22]. Действиями РФ по обеспечению БДД стали реализация межгосударственных целевых программ, а также федеральных целевых программ Повышения безопасности дорожного движения в 2006 – 2012 и в 2013 – 2020 годах, участие в мероприятиях, проводимых в рамках, организуемых Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций Недель БДД. Повышение БДД на дорогах страны в настоящее время является одним из главных национальных приоритетов государственной политики РФ.

Федеральной целевой программой «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 годах» реализуется комплекс научно-исследовательских

и опытно-конструкторских работ. В указанные мероприятия входит повышение уровня технического состояния эксплуатируемых ТС, их активной безопасности.

Безопасность и эффективность использования ТС зависит от их технического состояния. Изготовители не могут гарантировать отсутствие неисправностей ТС даже в нормальных условиях эксплуатации, вероятность появления которых увеличивается при нарушениях правил технической эксплуатации, при интенсивной эксплуатации без необходимого технического контроля, а также за пределами установленного ресурса, в условиях несвоевременного и некачественного ТО и ремонта (Р).

Мониторинг технического состояния ТС, оценка изменения потока отказов ТС, совершенствование методов диагностирования и используемых средств технического диагностирования (СТД), поддержания и восстановления его исправности составляют фундаментальные основы эффективной технической эксплуатации. Сегодня диагностам требуются методические средства, связанные с владением современной нормативной правовой базой, передовыми технологиями обеспечения работоспособности ТС, процедурами управления и их информационной составляющей.

С учетом вышеизложенного, можно сделать вывод об актуальности и обоснованной необходимости выполнения работы в области обеспечения БДД путем внедрения комплекса мер по повышению ее эффективности. Мое научное исследование в области диагностирования технического состояния тормозных систем САП направлено на повышение активной безопасности ТС в условиях эксплуатации.

Основываясь на данных статистики Главного управления по обеспечению безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел РФ (ГУ ОБДД МВД России) – рисунок 1.1 на улично-дорожной сети РФ в 2013, 2014 и 2015 годах в ДТП погибло – 27025, 26963 и 23114 чел. (в Санкт-Петербурге – 444, 412 и 354 чел.), [87] можно прийти к выводу о несовершенстве структуры системы в сфере обеспечения БДД. Огромные цифры, выражающие непозволительно высокие человеческие жертвы, просто «кричат» о не эффективном

функционировании системы обеспечения БДД и низкой дисциплине участников дорожного движения.

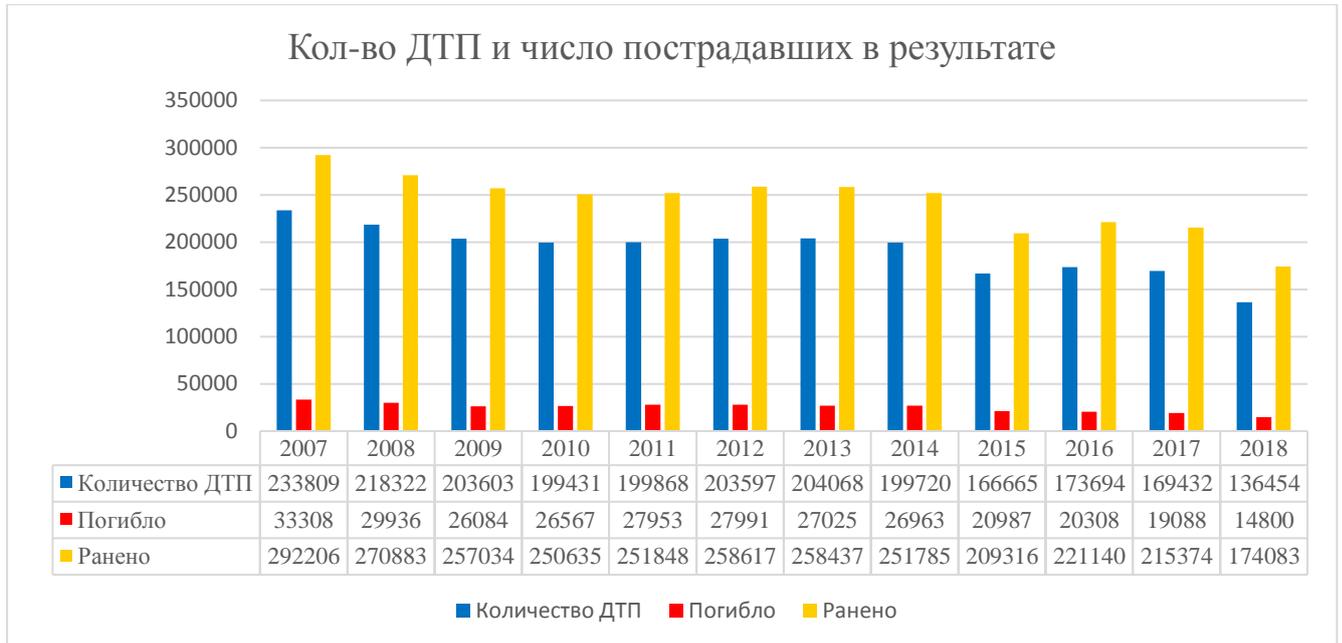


Рисунок 1.1 – Общее количество ДТП, число погибших и получивших травмы (раненных) в РФ (по статистике ГУ ОБДД МВД России)

Примечание: на рисунке 1.1 данные за 2018 год представлены за 10 месяцев.

Статистические материалы, представленные на рисунке 1.2, [87] показывают, что основными видами ДТП в России являются – столкновение ТС, наезд на пешехода и опрокидывание АТС. Анализ представленных данных также свидетельствует о низком уровне культуры поведения на дорогах и индивидуального правосознания участников дорожного движения.

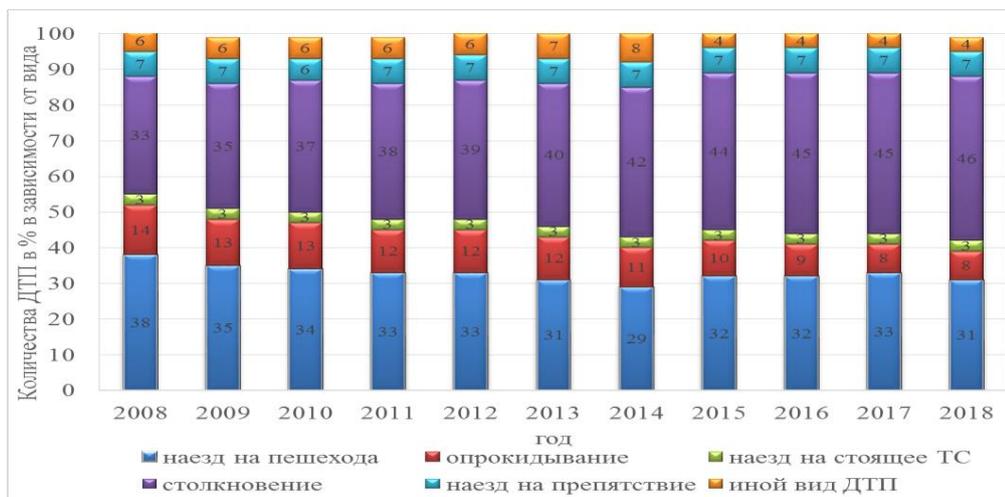


Рисунок 1.2 – Количества ДТП в % в зависимости от вида в период с 2008 по 2018 годы

В России количество ДТП по причине нарушения правил маневрирования водителями ТС занимает первое место и составляет 32% от общего числа ДТП. Почти каждому из них предшествует процесс торможения. Эффективность торможения ТС зависит от технического состояния тормозной системы и эксплуатации ТС. Статистика ДТП, представленная в таблице 1.1, показывает динамику роста происшествий, что вызывает потребность оперативно реагировать на эту ситуацию и принять меры по предупреждению выпуска технически неисправных ТС.

Таблица 1.1 – Статистика ДТП и количество пострадавших из-за эксплуатации технически неисправных ТС

Год	Российская Федерация		
	ДТП	Пострадавшие в ДТП	
		Погибло	Ранено
2015	2553	538	3747
2016	5394	978	8052
2017	2066	253	3089

Следует отметить, что значительную долю загрузки улично-дорожной сети городских агломераций среди всех видов ТС создает грузовой автотранспорт категории N3, численность которого неуклонно возрастает в связи с ростом торгово-промышленных и транспортных потребностей общества. Вместе с ростом парка машин растет и количество ДТП с участием автомобильных поездов.

Согласно «ОДМ 218.4.004–2009. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог», [74] рекомендованным распоряжением Росавтодора от 21.07.2009 № 260-р, ущерб от ДТП представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Потери от ДТП по методике «Оценка и расчет нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий» Р – 003112199-0502-00

Последствия ДТП	Социально-экономический ущерб при ДТП в млн рублей по годам		
	2008	2009	2010
Гибель человека	8,693	8,693	9,258
Ранение человека	0,265	0,265	0,282
Гибель ребенка	10,516	10,516	11,200

Согласно приложению 6 «Расчет величины годового ущерба от ДТП в результате повреждения АТС Московской области» пункта 4 таблицы П6.3 методики «Оценка и расчет нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий» Р 03112199-0502-00, [63] ущерб на одно ТС владельцев автопоездов, в зависимости от его составляющих, по величине занимает второе место после автобусов. Этот факт также подчеркивает высокий ущерб от ДТП с участием автопоездов.

Отдельно статистики по ДТП с участием автопоездов в России не ведется, данные получить затруднительно, поскольку ДТП с автопоездами фиксируются в одной группе с грузовыми ТС и не как не разделяются, в том числе одиночные тягачи без прицепного звена. Для данных групп ТС ведется общая статистика ДТП. Но увеличение числа автопоездов в транспортных потоках, их высокая энергоемкость (большие массы, большие скорости), а значит высокий уровень опасности возникновения ДТП, высокая стоимость и связанные с ней ущерб ТС, дорожных сооружений, элементов обустройства автомобильных дорог, высокая тяжесть последствий и другие ущербы (экономические, материальные и т.д.) вызывают потребность в разработке алгоритмов по принятию решения предупреждения ДТП, нужны математические модели (ММ), базы данных вплоть до реляционных и в пределе – для эксперта, расследующего ДТП, специалиста по ТО и Р ТС – механизмы предупреждения причин складывания САП и оценке допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.

Возрастающая потребность в качественной реакции на случившееся ДТП со стороны государства, высокая цена ущерба от ДТП определяют необходимость повышать требования к качеству диагностических работ, точности их результатов, как для диагностирования технического состояния ТС в целом, так и для его отдельных систем.

## 1.2 Обоснование выбора типа автопоезда для исследования его тормозных свойств

Автопоезд – конструктивно законченное АТС, состоящее из нескольких звеньев, соединенных между собой разъемными сцепными устройствами. Звенья – части автопоезда, имеющие собственную траекторию движения, что хорошо заметно при движении на повороте. Звенья автопоезда могут быть активными (в том числе и прицепные) и пассивными (не ведущими) [10]. Поскольку автопоезд трактуется как двух- или многомассовая система, звенья которой соединены упругими связями [46–50, 116] рассмотрим классификацию компоновочных схем автопоездов и проанализируем их.

По типу прицепного звена, различают следующие виды автопоездов, [3, 10]:

1. Прицепной автопоезд (рисунок 1.3.).

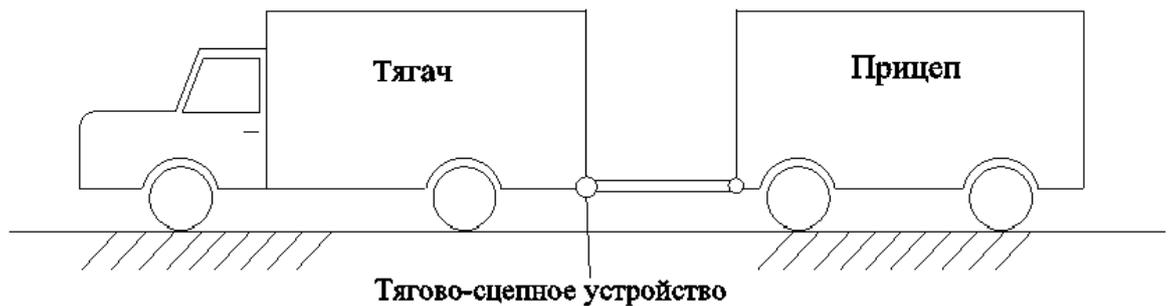


Рисунок 1.3 – Прицепной автопоезд

2. Седельный тягач с полуприцепом (рисунок 1.4.).



Рисунок 1.4 – Седельный автопоезд

3. С прицепом-ропуском (рисунок 1.5).

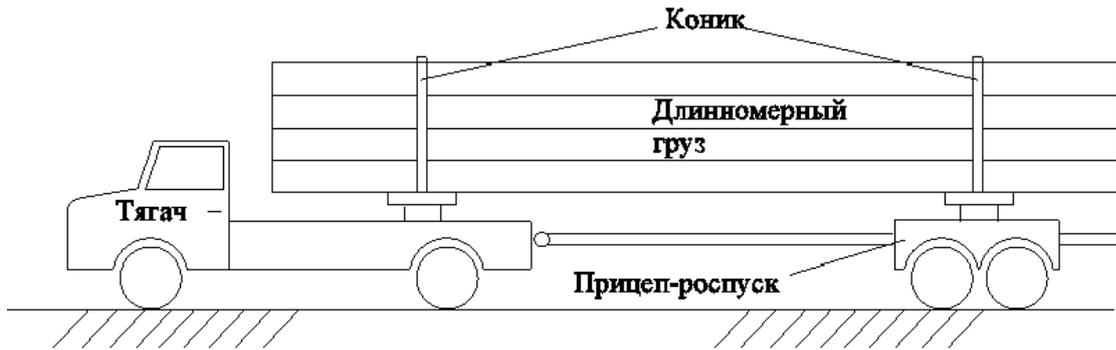


Рисунок 1.5 – Автопоезд с прицепом-ропуском

4. Комбинированный автопоезд (рисунок 1.6).

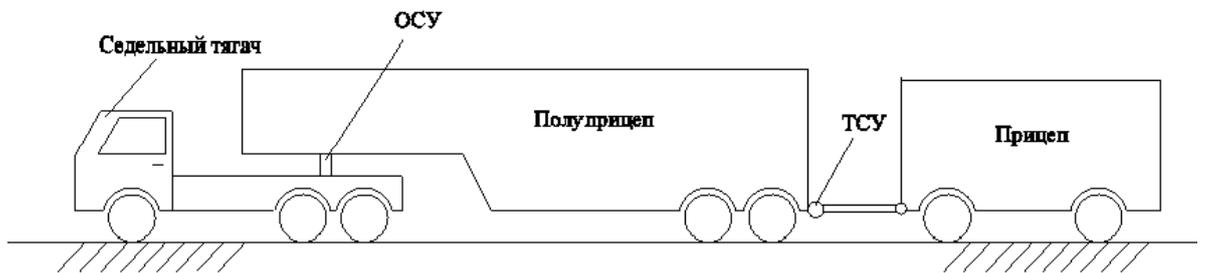


Рисунок 1.6 – Седельно-прицепной автопоезд

5. Комбинированный автопоезд с использованием подкатной тележки, возможно использование второго полуприцепа в качестве прицепа (рисунок 1.7).

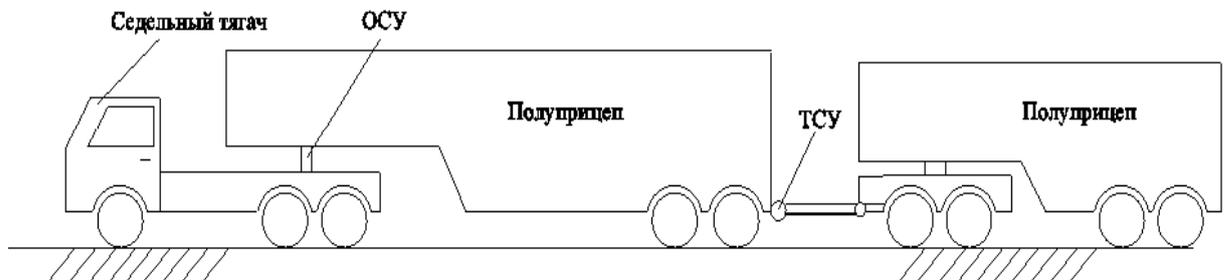


Рисунок 1.7 – Седельно-прицепной автопоезд с подкатной тележкой

6. Прицепной трехзвенный автопоезд (рисунок 1.8).

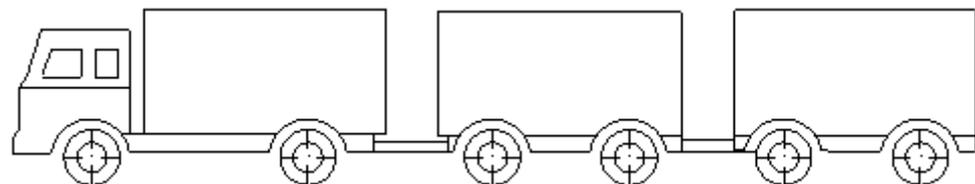


Рисунок 1.8 – Трехзвенный автопоезд (автомобиль-тягач + два прицепа)

В соответствии с ГОСТ Р 52051–2003 «Механические транспортные средства и прицепы», прицепы (полуприцепы) категорий О<sub>2</sub>, О<sub>3</sub>, О<sub>4</sub> дополнительно

классифицируют в зависимости от конструкции, [26]:

- полуприцеп – буксируемое АТС, оси которого расположены позади центра масс полностью загруженного ТС, оборудованное седельно-сцепным устройством, передающим горизонтальные и вертикальные нагрузки на буксирующее ТС (тягач). Одна или более осей полуприцепа может быть ведущей с приводом от буксирующего тягача;

- полный прицеп – буксируемое АТС, оборудованное по меньшей мере двумя осями и буксирным (тягово-сцепным) устройством, которое может перемещаться вертикально по отношению к прицепу и служит для поворота передних осей, но не передает какой-либо значительной статической нагрузки на буксирующий тягач;

- прицеп с центральной осью – буксируемое АТС, оборудованное тягово-сцепным устройством, которое не может двигаться относительно тягача в вертикальной плоскости. Оси смещены относительно центра масс при полной загрузке прицепа таким образом, что только незначительная статическая вертикальная нагрузка, не превышающая 120 % массы прицепа или 10 кН (меньшего из указанных значений), передается тягачу.

Автопоезд в составе тягача и полуприцепа имеет более высокие устойчивость, маневренность, проходимость, возможность управляемого движения задним ходом по сравнению с автопоездом в составе тягач – прицеп. Седельные автопоезда при той же грузоподъемности имеют меньшую длину, выдерживают в повороте динамический коридор ТС, по конструкции более простые и имеют меньший коэффициент металлоемкости. Их использование позволяет повысить коэффициент пробега, сократить простой под погрузкой и разгрузкой. Исходя из преимуществ седельного автопоезда, при сравнении его с прицепным ТС, по условиям безопасности дорожного движения, а также опираясь на статистику ГУ ОБДД МВД России, согласно которой количество зарегистрированных в РФ полуприцепов на 39% больше, чем прицепов категории О4 принято решение выбрать для исследования САП, [3, 5, 105].

Проведенный анализ парка АТС показал, что грузовые автомобили категории N3 составляют 25,8% от общего числа грузовых автомобилей, полуприцепы

категории О4 составляют 74% от общего количества полуприцепов всех категорий (прицепы О4 от общего числа прицепов всех категорий составляет 13,6%). Отсюда следует, что автопоезда в составе тягача N3 и полуприцепа О4 занимают не малую долю от общего числа автопоездов, в связи с чем исследование ограничено изучением технического состояния автопоезда в составе тягача N3 и полуприцепа О4.

Движение САП описывается более сложными математическими зависимостями, чем одиночного автомобиля. Вследствие того, что шарнирно соединенные между собой элементы поезда совершают взаимные перемещения, повышается вероятность складывания ТС. Оси полуприцепа катятся по траекториям, не соответствующим радиусу поворота дороги и возникающий при этом увод колес ухудшает управляемость и устойчивость автопоезда, особенно на скользких дорогах.

Наука об автомобилях развивается и системы, которые создавались раньше не создавали больших проблем науки. Сегодня конструкция ТС принципиально изменилась – это объекты с большими массово-габаритными параметрами, с высоким уровнем динамических свойств (скорость, ускорение, замедление) плюс внешние параметры (сложная дорожная среда – интенсивность, плотность транспортных потоков и составов), которые в этих сложных условиях водители ТС должны учесть и обеспечить безопасность. Поэтому в настоящем диссертационном исследовании анализируется влияние технического состояния РТС САП на обеспечение БДД с учетом отличительных особенностей выбранного типа ТС.

Рассмотрим показатели эффективности функционирования РТС для САП.

### **1.3 Анализ показателей эффективности функционирования РТС САП**

При эксплуатации САП происходит изменение технического состояния всех его систем, в том числе и тормозной, что существенно влияет на эффективность торможения САП и как следствие на БДД.

Для обеспечения эффективного торможения САП тормозное управление включает в себя четыре сложные системы, [34]:

1. РТС, которая предназначена для поддержания необходимой скорости движения ТС, ее снижения вплоть до полной остановки в любых условиях;
2. Запасная тормозная система, которая служит для остановки автомобиля в случае выхода из строя рабочей тормозной системы;
3. Стояночная тормозная система, которая предназначена для удержания ТС в неподвижном состоянии на опорной поверхности при воздействии на него внешних сил;
4. Вспомогательная тормозная система, которая предназначена для длительного поддержания постоянной скорости движения ТС, а также ее регулирования в пределах, отличных от нуля.

Для обеспечения безопасности дорожного движения тормозное управление должно в любой момент времени обеспечивать максимально возможную в данных условиях эффективность торможения, т.е. остановить САП с минимальным тормозным путем.

РТС – это основная тормозная система, которую используют водители ТС на любых режимах торможения.

Оценка технического состояния РТС САП на предмет соответствия ее эффективности торможения, нормативам, установленным ГОСТ 33997–2016 производится по следующим показателям, [32]:

1. При проверках на роликовых стендах рассчитывается, [32]:
  - усилие на органе управления  $P_p$ , не более для тягача категории N3 – 980 Н и для полуприцепа категории O4 – 686 Н;
  - удельная тормозная сила  $\gamma_T$ , отдельно для тягача и полуприцепа для РТС не менее 0,45 для тягача категории N3, не менее 0,41 для полуприцепа категории O4. По этому показателю характеризуется взаимодействие звеньев САП – тягача и полуприцепа в процессе торможения, [59–61]:

1. Если  $\gamma_{п} = \gamma_T$ , то  $P_c = 0$  – торможение синхронно;

2. Если  $\gamma_{\text{п}} > \gamma_{\text{т}}$ , то  $P_{\text{с}} > 0$  – полуприцеп усиливает торможение тягача, обеспечивая растяжку автопоезда, исключает складывание;

3. Если  $\gamma_{\text{п}} \leq \gamma_{\text{т}}$ , то  $P_{\text{с}} < 0$  – при торможении полуприцеп накатывается на тягач, что приводит к потере устойчивости и складыванию автопоезда;

– относительная разность  $F$  (в %) тормозных сил колес оси САП по результатам измерения тормозных сил на колесах в момент достижения порога проскальзывания опережающим колесом оси, для дисковых колесных тормозных механизмах не более 20%, для дисковых колесных тормозных механизмах не более 25%. Этим показателем определяется устойчивость ТС при торможении.

2. При проверках в дорожных условиях, [32]:

– тормозной путь  $S_{\text{т}}$ , м для тягача категории N3 не более 20 м;

– установившееся замедление,  $j_{\text{з}}$ , м/с<sup>2</sup>;

– время срабатывания тормозной системы,  $t_{\text{ср}}$ , с;

– коридор движения – при торможении РТС с начальной скоростью торможения 40 км/ч САП в составе тягача категории N3 и полуприцепа О4 не должно ни одной своей частью выходить из нормативного коридора движения шириной 3 м;

– усилие на органе управления  $P_{\text{п}}$ , не более для тягача категории N3 – 686 Н.

По результатам проверок полученные значения показателей сравнивают с нормативными, установленными ГОСТ 33997–2016. В случае соответствия указанных значений нормативным РТС считается исправной и допустимой к эксплуатации, в случае несоответствия – до устранения неисправностей эксплуатация ТС не допустима.

Таким образом, по вышеперечисленным показателям эффективности торможения РТС САП определяют лишь исправна или неисправна данная система, что недостаточно для качественного контроля функционирования РТС САП. Множество факторов, влияющих на процесс торможения САП, и в итоге, на уровень дорожной опасности делают целесообразным выполнение исследований механизма влияния на нее не доступных для оценки ранее параметров рабочих процессов функционирования пневматических приводов РТС САП. С целью

разработки соответствующего методического и технического обеспечения задач контроля функционирования пневматических РТС САП проанализируем методы и средства контроля РТС САП.

#### **1.4 Анализ существующих методов и средств контроля технического состояния РТС САП**

В РФ параметры оценки технического состояния тормозной системы ТС оцениваются следующими нормативно-техническими документами: Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств», ГОСТ 33997–2016 «Межгосударственный стандарт. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки» (ГОСТ 33997–2016), а также ГОСТ 4364–81 «Приводы пневматические тормозных систем автотранспортных средств. Общие технические требования» и ГОСТ 27.002–2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (ГОСТ 27.002–2015).

В требованиях ГОСТ 33997–2016 эффективность работы тормозных систем ТС допускается оценивать посредством проведения либо дорожных испытаний, либо стендовых испытаний. Требования стандартов являются обязательными и направлены на ОБДД, жизни и здоровья людей, сохранности их имущества и охраны окружающей среды.

Поскольку дорожный метод контроля РТС САП имеет ряд существенных недостатков – это обязательное наличие площадки с ровным горизонтальным покрытием, что не у каждого автопредприятия есть, неблагоприятные погодные-климатические условия, которые не позволяют выполнять контроль в нужное время и установленные сроки, наличие водителей с необходимой квалификацией вождения САП, если оценочные показатели выходят за пределы нормативных значений, метод не позволяет выявлять причину и место неисправности, что все равно ведет к необходимости выполнения диагностирования ТС на стенде, то далее в работе он рассматриваться не будет.

Для поддержания необходимого технического состояния РТС САП в процессе эксплуатации нужно качественно выполнять ее диагностирование.

Диагностирование РТС ТС в соответствии с вышеперечисленными нормативными правовыми документами может осуществляться следующими методами, [54]:

- органолептическим – с помощью органов чувств человека (зрения, слуха, осязания и обоняния), достоверность которого не превышает 40%;

- техническим – с помощью специального диагностического оборудования без разборки САП, достоверность которого более 90%.

Отсутствие утечек сжатого воздуха из тормозных камер колес проверяют при выключенном двигателе и нормативном давлении в пневмоприводе на слух или с помощью электронного детектора утечек сжатого воздуха.

Стендовые методы, наиболее распространенные при диагностировании тормозной системы ТС в условиях эксплуатации, и имеют ряд преимуществ:

- исключено влияние природно-климатических факторов;
- возможность выполнения большего количества проверок и сокращения времени обработки результатов диагностирования.

Недостатками силовых статических стендов являются, [76]: низкая точность результатов диагностирования, высокая трудоемкость и большие затраты времени на проведение диагностики ТС.

Согласно исследованиям А.И. Федотова и В.Г. Власова, методы диагностики тормозной системы на площадочных стендах имеют недостатки [113]:

- продольные колебания площадок, вызывающие срывы пятна контакта как в момент наезда на них тормозящих колес автомобиля, так и в момент блокирования колес;

- высокая сложность позиционирования тормозящих колес автомобиля относительно центров площадок стенда и связанное с этим появление моментов, разворачивающих площадки;

- нестабильность текстового воздействия (усилие и скорость нажатия на педаль тормоза), погрешность измерения тормозных сил на площадочных стендах достигает 50 %, [97].

Согласно ГОСТ 33997–2016 тормозные системы прицепов (полуприцепов) снаряженной массы проверяют в составе автопоезда только на роликовых стендах, а прицепов (полуприцепов) технически допустимой максимальной массы в составе автопоезда - на роликовых стендах и инерционным методом в дорожных условиях, в связи с чем проверка тормозной эффективности САП на площадочных стендах не допускается.

Инерционные роликовые стенды имеют следующие недостатки:

- зависимость результатов проверки от угла установки колеса ТС относительно продольных осей роликов, крутильных колебаний колеса на жесткостях подвески, характера взаимодействия эластичного колеса при торможении с двух роликов на один, перераспределение нормальных реакций, а также геометрических параметров стенда и колеса, [76];

- недостаточная безопасность испытаний;

- высокая трудоемкость и большие затраты времени на проведение диагностики ТС.

Силовые стенды с беговыми барабанами не всегда дают объективную оценку ее технического состояния по причине возникновения больших погрешностей измерения силовых параметров, характеризующих тормозную эффективность и устойчивость автомобиля при торможении, например, низкая скорость прокручивания колес ТС приводит к изменению тормозных сил от плюс 8,5 до плюс 22% в зависимости от режима торможения, [14].

Силовые роликовые тормозные стенды обладают следующими преимуществами перед всеми остальными видами стендов:

- обеспечена безопасность при проведении контроля, так как кинетическая энергия испытуемого ТС на таком стенде равна нулю;

- позволяют получать точные данные по результатам проверки тормозных систем ТС;

- позволяют обеспечить точное задание значений скорости торможения привода роликов стенда;

- динамику процесса торможения можно наблюдать в графической интерпретации.

Кроме вышеперечисленных методов ГОСТ 33997–2016 допускается проверять показатели эффективности торможения и устойчивости ТС при торможении методами и способами, эквивалентными установленным настоящим стандартом, если они регламентированы нормативными документами.

Таким образом, из всех видов стендов силовые роликовые тормозные стенды представляются как наиболее эффективные средства диагностирования тормозных систем САП.

Современные силовые роликовые стенды измеряют следующие оценочные показатели:

- вес, приходящейся на отдельное колесо САП,  $G$ , кг;
- тормозную силу каждого колеса САП,  $P_{\text{тор}}$ , кН;
- удельную тормозную силу каждого колеса САП,  $\gamma_T$ ;
- усилие на органе тормозным управлением,  $P_{\text{п}}$ , Н;
- неравномерность тормозной силы за один оборот колеса;
- данные проверки выводятся на дисплей в виде цифровой или графической информации, результаты диагностирования хранятся в базе данных предприятий государственного технического осмотра.

Учитывая вышеизложенное, силовые роликовые тормозные стенды наиболее качественно характеризуют техническое состояние РТС САП, обладают наибольшей точностью в сравнении с другими видами стендов, а также оперативностью выполнения испытаний.

Рассмотрим некоторые, близкие к теме диссертации, работы по исследованию и разработке методик диагностирования технического состояние тормозных систем ТС.

Например, Портнягин Е.М. [84] экспериментально доказал, что для контроля качества функционирования тормозных систем автомобилей с ABS

на инерционных роликовых стендах нецелесообразно использовать показатели, установленные ГОСТ Р 51709–2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки», ввиду их малой информативности, разработал и реализовал метод, позволяющий проводить диагностирование тормозной системы автомобилей с функционирующей ABS на инерционном роликовом стенде с использованием интегральных показателей, позволяющих численно оценивать качество работы тормозной системы и ABS, что позволяет повысить безопасность автомобилей в условиях эксплуатации и дает значительный социальный эффект – среднее значение удельной тормозной силы  $\bar{\gamma}$ ; относительная разность тормозной силы колес оси  $\bar{K}_H$ , среднее значение относительного проскальзывания  $\bar{S}$ , диапазон изменения значений проскальзывания  $\Delta S$ , диапазон изменения значений реализованной касательной реакции  $\Delta R_x$ ; время срабатывания тормозной системы  $t_{cp}$ .

Исследования Спиридонова Д.С. [100] показали, что при технически неисправной инерционной тормозной системы (ИТС) прицепа в условиях эксплуатации происходит снижение эффективности торможения автопоезда на 20 %. Разработал математическую модель процесса торможения автопоезда, которая учитывает изменения технического состояния тормозной системы автопоезда в условиях эксплуатации. При стендовом диагностировании выбраны и обоснованы следующие оценочные параметры технического состояния ИТС прицепа: удельная тормозная сила на колесах прицепа при определенном усилии вталкивания на сцепной головке, пороговое усилие устройства управления. Создан опытный образец нагревателя (имитатора нагрузки), расчетным и экспериментальными методами доказано, что нагреватель применим для диагностирования ИТС прицепа в условиях линии инструментального контроля.

Котов В.В. [57] разработал средства и методику экспериментального и лабораторного исследования влияния основных неисправностей пневматической тормозной системы автомобиля с ABS на рабочий процесс затормаживания колеса на основе использования виртуально-физической технологии, позволяющие варьировать параметрами технического состояния, такими как: зазор в тормозном

механизме, коэффициент трения тормозной накладки, гистерезис тормозного механизма, время срабатывания клапана модулятора, порог настройки логического блока ABS и выполнять оценку результатов на основе метода сравнения состояний. Разработаны структурно-следственные схемы, анализ которых показал, что вопросы диагностирования грузовых автомобилей с пневматической тормозной системой, оснащенной ABS, целесообразно решать комплексно при использовании как средств бортового контроля, так и стационарного диагностического оборудования.

Смолин А.А. [99] разработал метод дифференциального диагностирования тормозных систем АТС с пневматическим приводом, на стендах с беговыми барабанами. Данные, поступающие от тормозного стенда и датчиков давления рабочего тела в пневмоприводе тормозных систем АТС, позволяют сформировать динамические характеристики функционирования тормозной системы и определить те диагностические признаки, по которым можно выявить причину и место возникновения неисправности тормозных систем АТС, такие как: функция изменения нормальной реакции от коэффициента сцепления и проскальзывания; нагрузка, приходящаяся на колесо, ход штока тормозной камеры; функция тормозного момента от коэффициента трения между тормозным барабаном и фрикционными накладками, давление в тормозной камере и угловая скорость вращения колеса; функция давления в тормозной камере от времени.

Доморозов А.Н. [38] усовершенствовал методику измерения силовых параметров, характеризующих техническое состояние тормозных систем АТС, позволяющую значительно снизить погрешности измерения силовых параметров, характеризующих процесс торможения АТС на стендах с беговыми барабанами, учитывающую: характер взаимодействия колес АТС с опорными поверхностями беговых барабанов при их продольных и вертикальных перемещениях; колебания и перемещения подрессоренной массы АТС, а также влияние на этот процесс упругих характеристик подвески автомобиля.

Степанов А.Н. [101] обосновал метод последовательного (поосного) диагностирования тормозной системы АТС с функционирующей ABS

на одноплатформенном стенде с беговыми барабанами, основанного на анализе информации, поступающей от электронных систем стенда, измеряющих тормозные силы, угловые скорости колес диагностируемой оси АТС, угловую скорость беговых барабанов стенда, усилие на органе управления, нагрузки на диагностируемую ось АТС в процессе торможения. Также автором разработана математическая модель процесса торможения АТС с функционирующей ABS на одноплатформенном инерционном стенде с беговыми барабанами, которая учитывает характеристики взаимодействия конструктивных и эксплуатационных факторов с беговыми барабанами стенда.

Курочкин С.В. [58] разработал методику оценки влияния выходных характеристик пневмоаппаратов на показатели эффективности торможения АТС, учитывающую динамику работы привода и обосновал новые диагностические параметры, позволяющие прогнозировать эффективность торможения АТС.

Новоселов В.Л. [73] выявил закономерности влияния параметров эксплуатации и изменение технического состояния на тормозные свойства автопоездов и разработал комплекс аппаратных и методических средств диагностирования тормозных систем автопоездов с ABS и электропневматическим приводом тормозов, содержащий уникальный стенд для диагностирования тормозных систем, отличающийся дополнительными имитаторами колес, прицепа и тягача, что позволяет проводить проверку тормозной системы и ее механизмов отдельно от автопоезда.

Яньков О.С. [119] разработал методику определения параметров, позволяющих выполнять контроль тормозной эффективности и устойчивости АТС при торможении на роликовых стендах и реализующее ее оборудование. Методика реализует разработанный метод получения стационарных характеристик сцепления шин с роликами стенда, а также определения нормальных и продольных реакций, на основе эпюр их распределения по длине пятен контакта шины с кинематически связанными опорными роликами стенда, и позволяет определять удельную тормозную силу с погрешностью, не более 8–13,9 %.

Анализом многочисленных исследований установлено следующее:

- диагностирование грузовых автомобилей и автопоездов с пневматической тормозной системой целесообразно производить комплексно при использовании как средств бортового контроля, так и стационарного диагностического оборудования;

- существует необходимость выработки предложений по разработке методик диагностирования, применительно к модернизированному диагностическому оборудованию;

- в разрабатываемых методиках и математических моделях предусматривалось сокращение величин погрешностей измерений используемых средств технического диагностирования, [38, 99], что свидетельствует о недостаточной степени точности измерений, применяемых ранее для экспериментов стендов и оборудования;

- показатели процесса торможения автомобиля зависят от характеристик и технического состояния тормозной системы и ее элементов (тормозной привод, тормозные механизмы);

- определялись и обосновывались оценочные показатели эффективности функционирования тормозных систем различными методами и средствами технического диагностирования;

- утечки сжатого воздуха из элементов пневмопривода, время нарастания давления сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвигов по времени этих максимумов для разных колес, длина трубопроводов, давление и время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем при внешних утечках в исследованиях не рассматривались.

Требование по определению в соответствии с ГОСТ 33997–2016 технически исправной РТС АТС по параметрам усилия на педаль и разности тормозных сил колес оси достаточно обобщенное, не способно обеспечить недопустимость или минимизацию риска ДТП при торможении и не решают задачу определения безопасного технического состояния пневмопривода РТС САП. В связи этим, необходимо исследование параметров рабочих процессов функционирования РТС

САП для предотвращения первопричин складывания САП и оценке допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.

### **1.5 Обзор и анализ приводов тормозных систем**

Управление механизмами тормозных систем ТС осуществляется посредством приводов, которые могут быть механическими, гидравлическими, пневматическими, электрическими и комбинированными. Решающим фактором при выборе привода считаются недостатки других приводов:

Пневматические приводы тормозов применяются на грузовых автомобилях средней и большой грузоподъемности и на автобусах, [35].

Пневмопривод обладает следующими достоинствами: легкость управления и удобство соединения приводов тормозных систем тягача и прицепа (полуприцепа); возможность использования сжатого воздуха для иных целей (накачивание и поддержание давления в шинах, привод стеклоочистителей и др.); возможность внедрения системы ABS, реализация возможности аварийного резервирования разделением контуров; отсутствие необходимости возвращать рабочее тело (воздух) назад к компрессору; меньший вес рабочего тела; меньший вес исполнительных устройств по сравнению с электрическими; простота и экономичность, обусловленные дешевизной рабочего тела; возможность сброса отработавшего воздуха обратно в атмосферу; допустимость естественных утечек сжатого воздуха, пожаробезопасность; менее чувствителен к изменению температуры окружающей среды вследствие меньшей зависимости коэффициента полезного действия (КПД) от утечек рабочей среды, поэтому изменение зазоров между деталями пневмооборудования и вязкости рабочей среды не оказывают серьезного влияния на рабочие параметры пневмопривода, [35].

Недостатками пневмопривода являются сложность производства и обслуживания, сравнительно высокая стоимость, постоянные затраты мощности на привод компрессора, большое время срабатывания (в 5–10 раз больше, чем

у гидропривода). Последний недостаток может отсутствовать при применении электропневмопривода; нагревание и охлаждение рабочего газа в процессе сжатия в компрессорах (обусловлен законами термодинамики, что может привести к обмерзанию пневмосистем); конденсация водяных паров из рабочего газа, и в связи с этим необходимость его осушения; более низкий КПД, чем у гидропривода; низкие точность срабатывания и плавность хода; возможность взрывного разрыва трубопроводов или производственного травматизма (как правило давление в пневмосистемах не превышает 1 МПа и, как следствие, усилие на рабочих органах значительно меньше в сравнении с гидроприводом), [35].

Гидравлический привод тормозов применяется в рабочих тормозных системах легковых и легких грузовых автомобилей, [6].

Гидропривод обладает следующими достоинствами: возможность получения желаемого распределения тормозных усилий между мостами, колесами и колодками за счет размеров поршней колесных цилиндров; незначительное время срабатывания вследствие не сжимаемости жидкости и большой жесткости трубопроводов; высокий КПД, так как потери энергии связаны в основном с перемещением маловязкой жидкости из одного объема в другой; простота управления и автоматизации; простота предохранения приводного двигателя и исполнительных органов от перегрузок; например, если усилие на штоке гидроцилиндра становится слишком большим (такое возможно, в частности, когда шток, соединенный с рабочим органом, встречает препятствие на своем пути), то давление в гидросистеме достигает больших значений- тогда срабатывает предохранительный клапан в гидросистеме, и после этого жидкость идет на слив в бак, и давление уменьшается; небольшие массы и размеры и удобство компоновки аппаратов привода, [2].

Недостатки гидропривода: невозможность длительного торможения, так как значительное давление жидкости (до 10–12 МПа) в течении длительного времени уменьшается из-за негерметичности уплотнителей; выход из строя всей тормозной системы при местных повреждениях; значительное снижение КПД при низких температурах (ниже – 30°C), [2].

Механический привод тормозов применяется для стояночных тормозов, устанавливаемых как правило на агрегаты трансмиссии или тормозные механизмы одной оси, [2].

Недостатки механического привода: не обеспечивает в эксплуатации одновременного начала работы тормозов и необходимого распределения приводных сил между ними; большое число шарнирных соединений и опор в приводе приводят к значительным потерям на трение, этими потерями объясняется низкий КПД. Перечисленные недостатки определяют невозможность использования механического привода в РТС ТС.

Электрический привод тормозов не имеет пока широкого применения вследствие отсутствия на автомобилях достаточно мощного и надежного источника электрической энергии. Он применяется для управления тормозами некоторых легковых прицепов, [35].

Комбинированный электропневматический тормозной привод (ЭПП) получил распространение сравнительно недавно. Он представляет собой комбинацию электрического и пневматического приводов. В ЭПП воздух используют для затормаживания колес, а управление всеми аппаратами осуществляется электрическим путем. Устанавливается такой привод только в рабочей тормозной системе.

Преимуществами ЭПП являются: уменьшение времени срабатывания особенно удаленных осей прицепа или полуприцепа; уменьшение тормозного пути; оптимальное распределение тормозных сил между передними и задними колесами автомобиля; уменьшение сжимающих усилий в сцепке автопоезда за счет одновременности срабатывания тормозов на всех звеньях автопоезда; увеличение устойчивости автопоезда (снижение риска складывания); непрерывный контроль за исправностью элементов привода, осуществляемый бортовой диагностикой; возможность дальнейшей автоматизации управления движением автомобиля за счет использования электронного управления тормозами; упрощение привода, по сравнению с пневматическим, за счет объединения функций нескольких аппаратов в одном.

Недостатки ЭПП: имеется опасность нарушения контактов, сбоя в работе компьютера или механического повреждения проводников. Это приводит к полному выходу тормозного привода из строя и поэтому любая схема современного ЭПП предусматривает выполнение одного или нескольких контуров тягача и управление прицепом с параллельным дублированием пневматическим приводом, [104].

Пневмогидравлический тормозной привод применяется в РТС средних и тяжелых грузовых автомобилях, в частности тягачей и прицепов, [35].

Пневмогидравлический привод имеет значительно меньшие габариты и массу, меньше время срабатывания, чем у чисто пневматического привода.

При использовании комбинированных приводов недостатки одного из приводов пытаются компенсировать достоинствами другого.

Таким образом, учитывая достоинства и недостатки тормозных приводов уже долгие годы на тяжелых ТС с успехом используются пневматические тормозные системы, обусловлено это их преимуществами перед остальными тормозными приводами.

## **1.6 Выводы по главе 1. Определение задач диссертационного исследования**

Аналитический обзор в сфере БДД РФ определяет выводы о сложившейся ситуации:

- Согласно статистике ГУ ОБДД МВД России одной из значимых причин ДТП с тяжелыми последствиями и гибелью людей является нарушения ПДД РФ водителями ТС, в том числе в части эксплуатации технически неисправных ТС;

- Количество автопоездов в транспортных потоках увеличивается, возрастает уровень опасности возникновения ДТП с их участием, особым и наиболее сложным видом ДТП с участием САП являются ДТП, возникающие в результате их складывания;

- Уровень компетенции работников автотранспортных предприятий и организаций, качество подготовки ТС перед выездом из парка и ТО подвижного

состава недостаточен для соответствия требованиям современного этапа развития науки и техники;

- Отсутствуют методические средства для внедрения передовых технологий обеспечения работоспособности ТС, процедур управления технической эксплуатацией ТС и их информационной составляющей.

Автопоезда преимущественно длиннобазные и многоосные обладают тормозными системами, оказывающими существенное влияние на уровень БДД. Современные тормозные системы автопоездов это сложные энергоемкие, многофункциональные системы, которые преобразуют усилие на тормозную педаль в тормозную силу на затормаживаемых колесах. В конструкции этих систем встроены различные функциональные элементы, существенно повышающие их эффективность относительно прежних тормозных систем (например, автопоезда на шасси ЗИЛ, МАЗ, КАМАЗ). Все автопоезда зарубежного производства содержат системы ABS, устройства сопряжения тормозных систем с противобуксовочными устройствами, снабжены устройствами, сохраняющими параметры сжатого воздуха, например, ELC II система управления пневмоподвеской с электронным контролем уровня положения кузова). Отсюда следует, что эффективность тормозных систем не может быть однозначно определена только по параметрам усилия на педаль и силы на затормаживаемых колесах. В этом случае объектом контроля является «черный ящик» - вход и выход. Состояние связи между ними не оценивается при контроле. Знание этого механизма преобразования входа – выхода очевидно способно быть использованным для поиска неисправностей в этом «черном ящике» – для того, чтобы оценить техническое состояние связи между тормозной педалью и тормозными механизмами.

Поэтому качества подготовки и обслуживания подвижного состава недостаточно, что ведет к повышению вероятности возникновения ДТП уменьшению коэффициента технической готовности ТС. Отсутствие или недоступность нужной информации, приводят к тому, что диагностирование технического состояния ТС и исследование ДТП выполняется на основе устаревших, непригодных для современного уровня развития техники

методических средств и баз данных. Сегодня диагностам станций технического обслуживания, линий технического контроля требуются методические средства, связанные с владением современной нормативной технической базой, передовыми технологиями обеспечения работоспособности ТС, процедурами управления и их информационной составляющей. Это необходимо для более глубокого изучения параметров рабочих процессов систем РТС и получения показателей, определяющих работу системы на основе измерения и анализа технического состояния всех функциональных элементов пневмопривода РТС САП. Экспертный анализ предполагает вынесения заключения (возможно акта или протокола и т.д.), составленного по результатам проведенного исследования, и должен давать направление решения поставленных или обнаруженных в ходе исследования проблем.

В результате существующей неопределенности, отсутствия необходимых методических средств диагностирования РТС САП, оценка действий водителя при ДТП недостаточно точная, вследствие чего виновные в гибели людей ответственные лица уходят от уголовной ответственности. При контроле технического состояния РТС САП отсутствие утечек сжатого воздуха из тормозных камер колес проверяют при выключенном двигателе и нормативном давлении в пневмоприводе на слух, достоверность которого не превышает 40% или с помощью электронного детектора утечек сжатого воздуха. Параметры давления в тормозных контурах и тормозных камерах для каждого отдельного колеса ТС на сегодняшний день не измеряются. В одном торможении не показано как изменяется динамика рабочих процессов тормозного привода каждого отдельного колеса. А это очень важно при оценке технического состояния тормозной системы САП.

Сложившаяся в РФ ситуация подчеркивает высокую потребность в повышении уровня БДД, как ст. 2 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 26.12.1995 № 196-ФЗ требует, путем предупреждения первопричин, вызывающих бортовую несимметрию действия тормозных сил, которая вызывает последующее ДТП с участием САП.

Анализ рассмотренных исследований подтверждает, что особое внимание необходимо уделять техническому состоянию тормозной системы АТС, так как требуемые нормативными документами [32, 79, 106] показатели их тормозной эффективности и устойчивости в процессе торможения призваны обеспечивать БДД и снижать аварийность.

Таким образом, возникает потребность в выполнении исследований механизма влияния на уровень дорожной опасности не доступных для оценки ранее параметров рабочих процессов функционирования пневмопривода РТС САП.

Эффективными мероприятиями по предупреждению ДТП с участием САП будут являться разработка методических средств выполнения поиска неисправностей и обоснования допустимого по БДД технического состояние пневмопривода РТС САП, с точностью достаточной для достижения необходимого уровня БДД, для чего необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать расчетную модель исследования процесса экстренного торможения САП, достаточную для достижения цели диссертационного исследования;
2. Обосновать факторы, вызывающие несимметрию тормозных сил по бортам САП, влияющую на механизм их складывания и причины возникновения ДТП, как факторы, вышедшие за допустимые по БДД границы;
3. Обосновать механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП;
4. Выполнить экспериментальные исследования параметров процесса торможения РТС САП для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам САП на механизм складывания САП
5. Обосновать структуру технического обеспечения задачи №4;
6. Разработать методику решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обосновать допустимое по БДД техническое состояние по факторам для пневмопривода каждого колеса САП;

7. Разработать методику стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки свойств, как совокупность решения перечисленных выше частных задач.

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Математические модели движения ТС

Проанализируем – ММ, описывающие процесс движения автопоездов, предшествующий ДТП (столкновение) – по следующим видам движения согласно рисунку 1.9:

- прямолинейное;
- криволинейное;
- при торможении.

При прямолинейном движении (рисунок 2.1)  $\alpha_k = 0$  и силы действующие на ТС определены уравнениями 1–4:

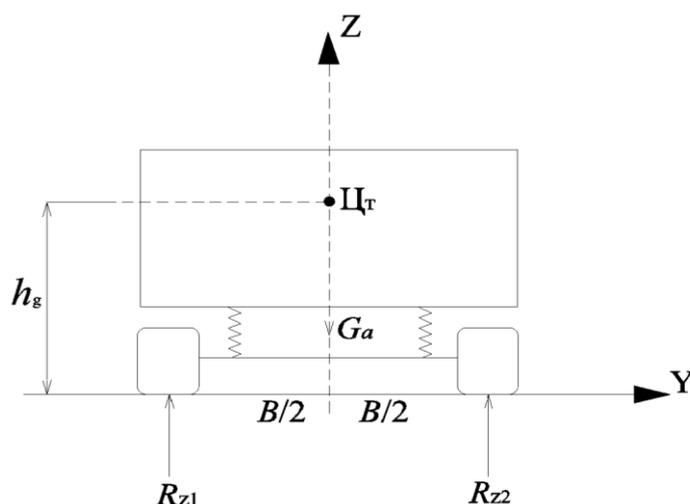


Рисунок 2.1 – Расчетная схема сил, действующих на ТС при прямолинейном движении на горизонтальной опорной поверхности

где:  $G_a$  – вес ТС, кг;  $R_{zi}$  – нормальная реакция дороги, действующая на колеса ТС;  $h_g$  – высота центра тяжести ТС, м;  $B$  – колея ТС, м; X – продольная ось; Y – поперечная ось.

Уравнение движения ТС, [59–61]:

$$\frac{G_a}{g} \cdot j = R_{x1} + R_{x2} - P_B \quad (1),$$

$$G_a = m_a \cdot g = R_{z1} + R_{z2} \quad (2),$$

где:  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $j$  – ускорение ТС м/с<sup>2</sup>;  $P_B$  – сила

сопротивления воздуха;  $m_a$  – масса ТС;  $R_{xi}$  – продольная реакции дороги, действующая на колеса ТС.

Распределение сил между мостами при движении на горизонтальной дороге (рисунок 2.1) определено зависимостями, [59–61]:

$$R_{z1} = G_a b/L \quad (3),$$

$$R_{z2} = G_a a/L \quad (4),$$

где:  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $j$  – ускорение ТС;  $P_B$  – сила сопротивления воздуха;  $m_a$  – масса ТС;  $a$  – расстояние от центра тяжести ТС до передней оси;  $b$  – расстояние от центра тяжести ТС до задней оси;  $L$  – база ТС.

Силы, действующие на ТС, при совершении поворота описаны уравнениями 5 – 17 и показаны на рисунке 2.2 – ММ криволинейного движения.

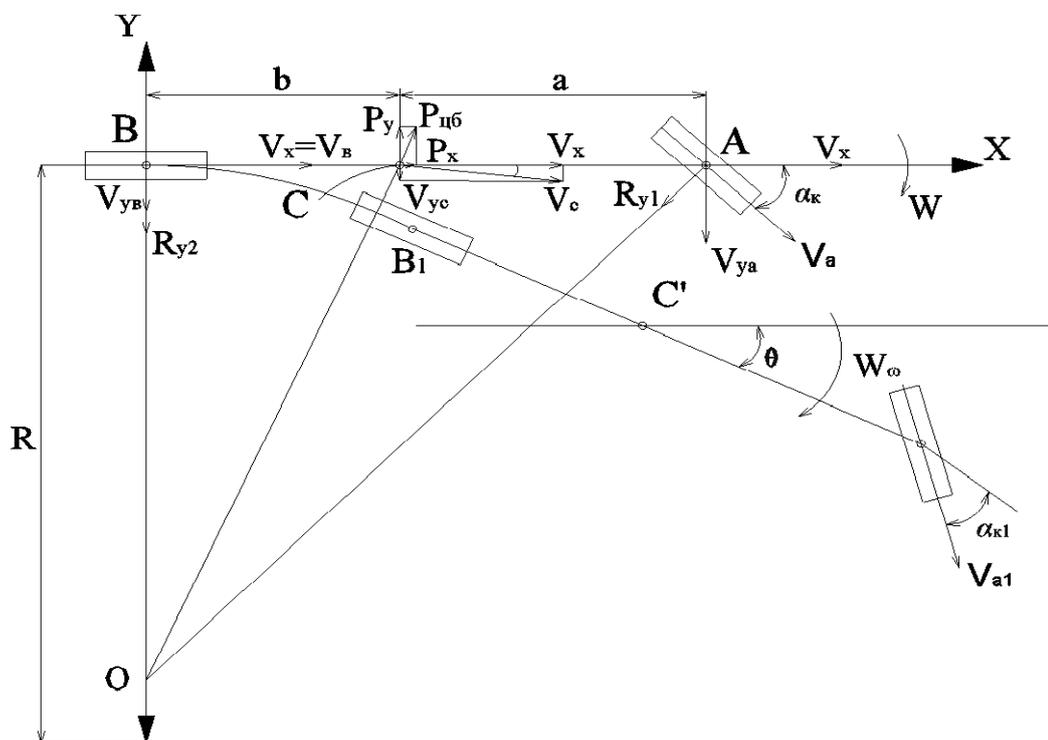


Рисунок 2.2 – Расчетная схема сил, действующих при криволинейном движении на плоской одномассовой модели автомобиля

где:  $A_1$  – центр передней оси при смещении точки A;  $B_1$  – центр задней оси при смещении точки B;  $C'$  – центр масс при смещении точки C;  $V_c$  – скорость центра масс (точки C);  $\alpha_k$  – угол поворота управляемых колес ТС;  $\theta$  – угол смещения относительно оси X;  $V_x$  – проекция  $V_c$  на продольную ось X – скорость движения

ТС;  $V_y$  – проекция  $V_c$  на поперечная ось Y (скорость бокового смещения ТС);  $\gamma$  – угол между продольной осью и векторов скорости  $V_c$ .

$$j_y = V_a \cdot \omega_a - \dot{V}_y \quad (5),$$

$$j_x = \dot{V}_a + V_y \cdot \omega_a = j_a + V_y \cdot \omega_a \quad (6),$$

$$V_y = V_a \cdot \operatorname{tg} \gamma = V_a \frac{a - R \cdot (\alpha_k - \beta_1)}{R} = V_a \left[ \frac{a}{R} - (\alpha_k - \beta_1) \right] \quad (7)$$

при  $R = \frac{L}{(\alpha_k + \Delta\beta)}$ :

$$\begin{aligned} V_y &= V_a \cdot \left[ \frac{a}{L} \cdot (\alpha_k + \Delta\beta) - (\alpha_k - \beta_1) \right] = V_a \cdot \left[ \frac{a}{L} \cdot (\alpha_k - \beta_1) + \frac{a}{L} \cdot \beta_2 - (\alpha_k - \beta_1) \right] = \\ &= V_a \cdot \left[ -\frac{b}{L} \cdot (\alpha_k - \beta_1) + \frac{a}{L} \cdot \beta_2 \right] \end{aligned} \quad (8)$$

$$V_y = \frac{V_a}{L} [a \cdot \beta_2 - b \cdot (\alpha_k - \beta_1)] \quad (9),$$

$$\dot{V}_y = \frac{\dot{V}_a}{L} [a \cdot \beta_2 - b \cdot (\alpha_k - \beta_1)] + \frac{V_a}{L} [a \cdot \dot{\beta}_2 - b \cdot (\dot{\alpha}_k - \dot{\beta}_1)] \quad (10),$$

Тогда

$$j_x = j_a + \frac{V_a \cdot \omega_a}{L} \cdot [a \cdot \beta_2 - b \cdot (\alpha_k - \beta_1)] \quad (11),$$

$$j_y = V_a \cdot \omega_a - \frac{V_a}{L} [a \cdot \dot{\beta}_2 - b \cdot (\dot{\alpha}_k - \dot{\beta}_1)] - \frac{\dot{V}_a}{L} [a \cdot \beta_2 - b \cdot (\alpha_k - \beta_1)] \quad (12),$$

где:  $j_a$  – ускорение ТС, м/с<sup>2</sup>;  $\omega_a$  – угловая скорость ТС;  $\dot{V}_a$  – ускорение ТС (производная от  $V_a$ );  $\dot{V}_y$  – скорость движения ТС, км/ч;  $\beta_i$  и  $\dot{\beta}_i$  – угол увода  $i$ -го колеса ТС;  $\Delta\beta$  – разница углов увода осей ТС;  $a$  – расстояние от центра тяжести ТС до передней оси;  $b$  – расстояние от центра тяжести ТС до задней оси.

Действие боковых сил, [59–61]:

$$P_x = j_x \cdot \frac{G_a}{g} \quad (13),$$

$$P_y = j_y \cdot \frac{G_a}{g} \quad (14),$$

Распределение  $P_y$  по осям:

$$J_a^z \cdot \omega_a = R_{z1} \cdot a + R_{z2} \cdot b \quad (15),$$

$$P_y = R_{y1} + R_{y2} \quad (16),$$

$$P_{цб} = \frac{G_a}{g} \cdot \frac{V_a^2}{R} \quad (17),$$

где:  $j_x$  – продольное ускорение ТС, м/с<sup>2</sup>;  $j_y$  – поперечное ускорение ТС, м/с<sup>2</sup>;  $J_a^z$  – момент инерции ТС относительно вертикальной оси, проходящий через центр;  $\dot{\omega}_a$  – угловое ускорение ТС.

При торможении силы, действующие на ТС представлены на рисунке 2.3:

Уравнение движения АТС при торможении на горизонтальной опорной поверхности имеет следующий вид, [59–61]:

$$\frac{G_a}{g} j_3 = P_{xi_r} + P_{xi_{пп}} + P_B \quad (18),$$

где:  $j_3$  – замедление автопоезда.

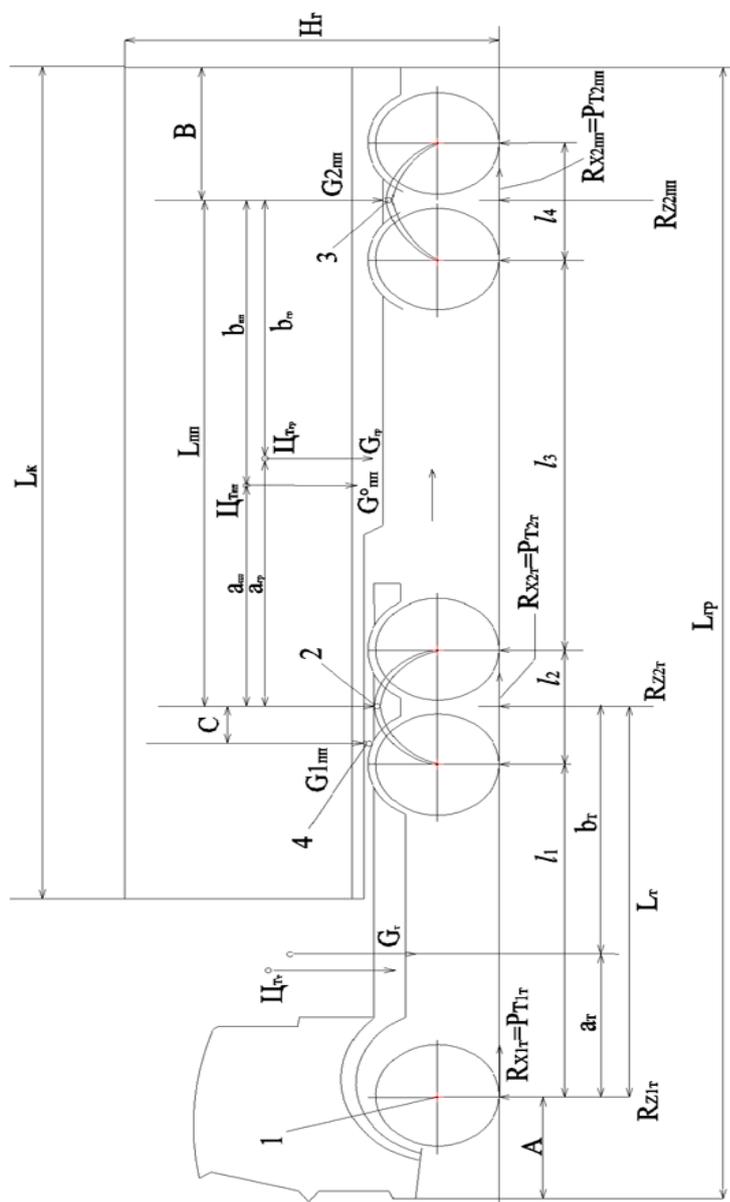


Рисунок 2.3 – Расчетная схема сил, действующих на звенья седельного САП на режиме торможения

где:  $L_{гр}$  – длина грузовика;  $L_k$  – длина кузова ТС;  $H_g$  – габаритная высота;  $\mathcal{C}_{Тг}$  – центр тяжести тягача;  $\mathcal{C}_{Тпп}$  – центр тяжести полуприцепа;  $\mathcal{C}_{Тгр}$  – центр тяжести груза;  $L_T$  – колесная база тягача;  $G_{пп}^0$  – вес порожнего полуприцепа;  $G_{1пп}$  – нагрузка на седельное устройство от полуприцепа;  $G_{2пп}$  – нагрузка на задние оси полуприцепа;  $G_{гр}$  – вес груза;  $G_T$  – вес тягача в снаряженном состоянии;  $L_{пп}$  – база полуприцепа;  $a_T$  и  $b_T$  – координаты центра тяжести тягача;  $a_{пп}$  и  $b_{пп}$  – координаты центра тяжести полуприцепа;  $a_{гр}$  и  $b_{гр}$  – координаты центра тяжести груза;  $R_{xi_T}$  – продольные реакции дороги на колеса передней и задней осей тягача;  $R_{xi_{пп}}$  – продольные реакции дороги на колеса задних осей полуприцепа;  $P_{Ti_T}$  – тормозная сила передней и задних осей тягача;  $P_{Ti_{пп}}$  – тормозная сила на колесах осей полуприцепа;  $R_{zi_T}$  – нормальная реакция дороги на колеса передней и задних осей тягача;  $R_{z1_{пп}}$  – нормальная реакция дороги на седельно-сцепное устройство автопоезда;  $R_{z2_{пп}}$  – нормальная реакция дороги на колеса осей полуприцепа;  $A$  – передний свес тягача;  $B$  – задний свес полуприцепа.  $C$  – смещение оси седельного устройства относительно оси балансирной подвески; 1, 2, 3 и 4 – точки приложения сил;  $l_i$  – расстояния между осями звеньев автопоезда.

Проанализировав ММ, описывающие процесс движения САП, можно сделать вывод, что при тормозном режиме движения САП нельзя пренебрегать силами взаимодействия звеньев и рассматривать автопоезд как одномассовую плоскую систему. Цель торможения – управлять скоростью АТС, [35]. Обеспечение исправной работы тормозных систем ТС является главным способом предотвращения ДТП.

Рассмотрим тормозные свойства САП.

### 2.1.1 Обзор тормозных свойств автопоездов

Способность к принудительному снижению скорости и быстрой остановке – важнейшее динамическое свойство любого ТС, влияющее на его эксплуатационные показатели и имеющие большое значение для БДД.

Ввиду высокого значения данного свойства, требование по торможению, то есть требования к техническому состоянию тормозной системы, которые предъявляются к АТС, изложены в ряде нормативной документации – Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств», а также ГОСТ 4364–81, ГОСТ 33997–2016 и являются обязательными для выполнения.

Под тормозными свойствами понимается способность автомобиля быстро снижать скорость движения вплоть до полной остановки, сохранять заданную скорость движения на затяжных спусках и оставаться неподвижным относительно дороги при действии каких-либо возмущающих сил.

При тормозном режиме движения САП нельзя пренебрегать силами взаимодействия звеньев и рассматривать автопоезд как одномассовую плоскую систему. На рисунке 2.3 показана схема сил, действующих на звенья САП на режиме торможения.

Уравнение движения САП при торможении, [59–61]:

$$\frac{G_a}{g} \cdot j_3 = P_{Ti_T} + P_{Ti_{\text{пн}}} + P_B \quad (19),$$

Распределение тормозной силы между мостами при торможении на горизонтальной дороге, [59–61, 116]:

$$P_{Ti_T} = R_{zi_T} \cdot \varphi_x \quad (20),$$

$$P_{Ti_{\text{пн}}} = R_{zi_{\text{пн}}} \cdot \varphi_x \quad (21),$$

$$R_{z1_T} + R_{z2_T} = G_T + R_{z1_{\text{пн}}} \quad (22),$$

$$R_{z2_{\text{пн}}} = G_{\text{пн}}^0 - R_{z1_{\text{пн}}} \quad (23),$$

$$R_{z1_T} = G_T \left( b_T + \frac{h_T \cdot j_3}{g} \right) / L_T \quad (24),$$

$$R_{z2_T} = G_T(a_T - \frac{h_T \cdot j_3}{g})/L_T \quad (25),$$

$$R_{z1_{пп}} = G_{пп}^0(b_{пп} + \frac{h_{пп} \cdot j_3}{g})/L_{пп} \quad (26),$$

$$R_{z2_{пп}} = G_{пп}^0(a_{пп} - \frac{h_{пп} \cdot j_3}{g})/L_{пп} \quad (27),$$

Продольные реакции при торможении равны, [59–61, 116]:

$$R_{xi_T} = G_T \cdot \varphi_x \quad (28),$$

$$R_{xi_{пп}} = G_{пп}^0 \cdot \varphi_x \quad (29),$$

где:  $\varphi_x$  – коэффициент продольного сцепления шин с опорной поверхностью,  $h_T$  – высота центра тяжести тягача,  $h_{пп}$  – высота центра тяжести полуприцепа.

Эффективное использование АТС невозможно без широкого применения специализированных грузовых автомобилей, прицепов и полуприцепов. В связи с ростом объемов груза, которые нужно перевозить, растет и парк САП. А вместе с ним количество ДТП с участием большегрузных и длинномерных автомобилей. В виду различных скоростных характеристик, технических возможностей разных видов ТС и их тормозных свойств формируется неоднородный транспортный поток и образование потенциальных предпосылок возникновения ДТП. Автомобильные поезда в 1,5 раза чаще попадают в ДТП, а последствия в результате аварий с их участием более тяжкие по сравнению с одиночными легковыми ТС.

Распределение тормозных сил, характеризуется зависимостями для составных частей САП соответственно, [59–61, 103]:

$$P_{T2_T} = \frac{P_{T1_T}(a - h_T \cdot \varphi_x)}{b + h_T \cdot \varphi_x} \quad (30),$$

$$P_{T2_{пп}} = \frac{P_{T1_{пп}}(a - h_{пп} \cdot \varphi_x)}{b + h_{пп} \cdot \varphi_x} \quad (31),$$

Для графического представления процесса торможения АТС, с целью оценки тормозных свойств, строят тормозную диаграмму (рисунок 2.4), характеризующую зависимость отрицательных значений ускорений от времени. На тормозной диаграмме начало координат соответствует моменту, в который водитель обнаружил перед движущимся автомобилем препятствие, [61].

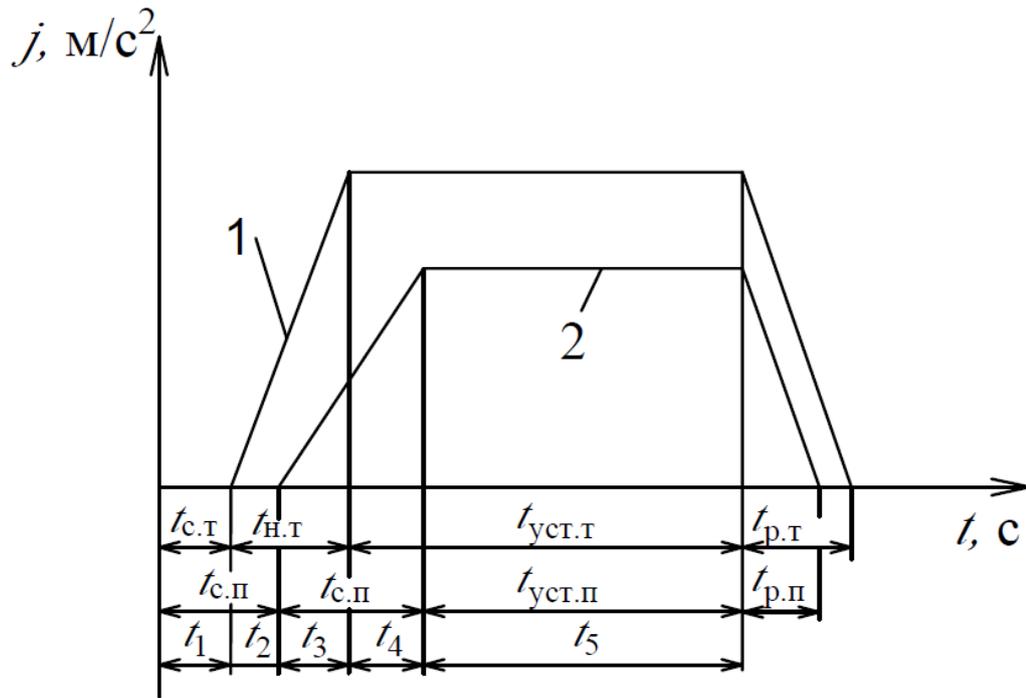


Рисунок 2.4 – Тормозная диаграмма САП: 1 – тягача, 2 – полуприцепа

где:  $t_{с.т}$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода и тормозных механизмов тормозной системы тягача, с;  $t_{с.п}$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода и тормозных механизмов тормозной системы полуприцепа, с;  $t_{н.т}$  – время нарастания замедления тягача, с;  $t_{н.п}$  – время нарастания замедления полуприцепа, с;  $t_{р.т}$  – время растормаживания тягача, с;  $t_{р.п}$  – время растормаживания полуприцепа, с;  $t_{уст.т}$  – время установившегося замедления тягача, с;  $t_{уст.п}$  – время установившегося замедления полуприцепа, с;  $t_{1...5}$  – основные этапы времени замедления автопоезда, с.

Усилия в сцепке звеньев автопоезда находятся из условия равновесия полуприцепа под действием горизонтальных сил, [116]:

$$P_c = \delta'_{пп} \cdot M_{пп} \cdot \frac{d^2 \cdot S_{ап}}{dt^2} - P_{Тпп} \quad (32),$$

где:  $P_c$  – усилие в сцепке звеньев автопоезда;  $\delta'_{пп}$  – коэффициент учета вращающихся масс полуприцепа;  $\delta'_{пп} \cdot M_{пп}$  – приведенная масса полуприцепа;  $S_{ап}$  – путь пройденный автопоездом от некоторого исходного положения;

Параметры сцепного устройства влияют на эффективность торможения.

Для случая, когда тормозные силы определяются сцеплением колес с опорной поверхностью, максимальные усилия в сцепке равны, [116]:

$$P_{c_{max}} = m \cdot (G_T - R_{z1_{пп}}) \cdot \varphi_x \quad (33),$$

$$P_{c_{max}} = -(1 - m) \cdot R_{z2_{пп}} \cdot \varphi_x \quad (34),$$

при  $P_{T_T} = 0$ .

где:  $P_{c_{max}}$  – максимальное значение усилия в сцепке звеньев автопоезда;  
 $m$  – коэффициент весовой характеристики автопоезда;

Торможение в отличие от прицепных автопоездов вызывает значительные изменения сцепных весов звеньев САП. Согласно рисунок 2.3 получается, [116]:

$$R_{z1_{пп}} + R_{z2_{пп}} = G_{пп}^0 \quad (35),$$

$$-R_{z1_{пп}} \cdot L_{пп} - P_{кр} \cdot h_{кр} + \frac{G_{пп}^0}{g} \cdot \frac{d^2 \cdot S_{тап}}{dt^2} \cdot h_{пп} + G_{пп}^0 \cdot b_{пп} = 0 \quad (36),$$

где:  $S_{тап}$  – тормозной путь пройденный автопоездом от момента нажатия на педаль до остановки;  $h_{кр}$  – высота точки сцепки звеньев автопоезда;

Торможение с отсоединенным двигателем применяют наиболее часто. Для одиночного автомобиля, при отсоединенным от остальных вращающихся масс двигателе, тормозная сила равна, [116]:

$$P_T = j_3 \cdot m_a \cdot (1 + \delta_{1в} \cdot u_k^2 + \delta_{2в}) - P_{тр,д} - P_в \quad (37),$$

где:  $u_k$  – передаточное число коробки передач;  $m_a$  – масса ТС;  $\delta_{iв}$  – коэффициент учета вращающихся масс ТС;  $P_{тр,д}$  – тормозная сила двигателя ТС;

В общем случае тормозная сила автомобиля находится по упрощенной формуле, [61]:

$$P_T = \sum M_T / r_d \quad (38),$$

где:  $\sum M_T$  – сумма моментов трения на всех колесных тормозах;  
 $r_d$  – динамический радиус колеса.

Рассмотрим случаи, когда целесообразно применять совместное торможение тормозной системой и двигателем ТС. Тогда уравнение движения ТС для совместного торможения будет иметь вид, [103]:

$$j_{с.тор} = \frac{g \cdot (P_T + P_{Tg} + \sum P)}{\delta_B \cdot G_a} \quad (39),$$

где:  $j_{с.тор}$  – замедление при совместном торможении;  $j_{тор}$  – замедление при торможении с не отсоединенным двигателем;  $P_{Tg}$  – сила сопротивления (трения) в двигателе, приведенная к ведущим колесам, кгс;  $\sum P$  – сумма всех сил сопротивления движению, кгс.

При торможении с не отсоединенным двигателем коэффициент учета вращающихся масс равен  $\delta_M$ . Тогда замедление и тормозная сила, [103]:

$$j_{тор} = \frac{g \cdot (P_T + \sum P)}{\delta_M \cdot G_a} \quad (40),$$

$$P_T = j_z \cdot m_a (1 + \delta_{2B}) - P_B \quad (41),$$

Особые требования к тормозным системам автопоездов определены принципиальными различиями в характере их процесса торможений от одиночного ТС – это оснащение автопоездов двух- или многоконтурными тормозными приводами. Одной из характерных особенностей процесса торможения автомобильного поезда является неодновременность срабатывания тормозных механизмов различных мостов, что оказывает влияние на характер нарастания замедления и устойчивость автопоезда. Если у всех колес автопоезда тормоза исправны, то установившееся замедление определяется по формуле [61]:

$$j_{уст} = \varphi_{п} \cdot g \quad (42),$$

где:  $\varphi_{п}$  – приведенное значение коэффициента сцепления;  $j_{уст}$  – установившееся замедление ТС, м/с<sup>2</sup> – табличное значение.

$$\varphi_{п} = \frac{\varphi}{K_3} \quad (43),$$

где:  $\varphi$  – значение коэффициента сцепления шин с дорогой;  $K_3$  – коэффициент эффективности торможения, учитывающий степень использования суммарной силы сцепления шин заторможенных колес с поверхностью проезжей части (несоответствие фактических тормозных сил на колесах силам сцепления).

Так как при торможении автопоезда должно быть обеспечено превентивное действие тормозов звеньев автопоезда (прицепов и полуприцепов) относительно

тормозов тягача, то значение  $K_3$  в зависимости (43) может быть увеличено до 1,4, [103].

Таким образом, поведение САП является менее определенным, чем одиночного ТС ввиду конструктивных особенностей (сочлененно соединенных звеньев) его значительного веса и габаритов, а также более низкими тормозными свойствами, свойствами управляемости и устойчивости. Во время движения прицепное звено постоянно отклоняется от траектории движения автомобиля-тягача, что повышает опасность при совершении маневра, неисправная тормозная система вызывает несимметрию действия тормозных механизмов колес тягача и звеньев САП, вследствие чего происходит либо накатывание полуприцепа на тягач или растяжение САП, на определенных скоростях возникают поперечные колебания в горизонтальной плоскости, дополнительные движения происходят в точке сцепке.

При неправильном выборе интенсивности торможения САП имеет свойство складываться (т.е. полуприцеп по инерции набегает на тягач). При торможении между шинами колес и опорной поверхностью возникает тормозная сила. В случае если тормозная сила превышает силу сцепления, колеса блокируются, движение осуществляется юзом, что не редко приводит к складыванию САП. В случае если происходит юз колес передней оси или колес тягача со стороны внешнего радиуса поворота – это также приводит к складыванию САП. Причиной возникновения нарушения устойчивости при торможении САП в горизонтальной плоскости, могут быть различные силы сцепления с дорожным покрытием колес правого и левого бортов САП. Различные по величине тормозные силы на колесах правого и левого бортов САП вызывают появление поворачивающего момента. Резкое затормаживание тягача перед препятствием для избежания столкновения с изменением траектории движения тягача относительно траектории движения полуприцепа, ввиду действия значительных инерционных сил также ведет к складыванию САП.

Учитывая вышеизложенное, требования к контролю тормозных систем САП должны включать в себя множество факторов, влияющих на динамику торможения

САП, дистанционный мониторинг параметров рабочих процессов функционирования РТС в режимах торможения САП, количественную оценку этих параметров, их накопление и прогнозирование. Сложившаяся ситуация делает целесообразным выполнение исследований механизма влияния на эффективность торможения не доступных для оценки ранее параметров рабочих процессов функционирования пневмоприводов РТС САП.

Рассмотрим расчетную модель исследования процесса экстренного торможения САП.

## **2.2 Обоснование расчетной модели исследования процесса экстренного торможения САП, достаточную для достижения цели диссертационного исследования**

Объектом исследования в данной диссертационной работе является методическое обеспечение технологии предупреждения факторов ДТП с участием САП при их торможении по фактору технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов.

Поскольку силы, вызывающие складывание САП в результате их торможения исправной РТС на сухом асфальтобетонном покрытии, вызваны несимметрией их действий по бортам – как по величине, так и по времени, то нужна математическая модель расчета этих сил, которая бы позволяла определить несимметрию их действий и условия возникновения складывающихся моментов САП. Расчетная схема сил, действующая на САП при торможении известна – [50]. Она и позволяет учесть не только несимметрию тормозных сил по бортам, но и углы излома продольных осей САП, радиус поворота на криволинейной траектории движения и др., что не входит в границы моего исследования. Поэтому указанная схема использована для исследования процесса складывания. Для методических целей на ее основе определена плоская модель (рисунок 2.5), обладающая достаточным и необходимым уровнем информации.

Механизм сил действующий на САП поясняет указанная модель (рисунок 2.5).

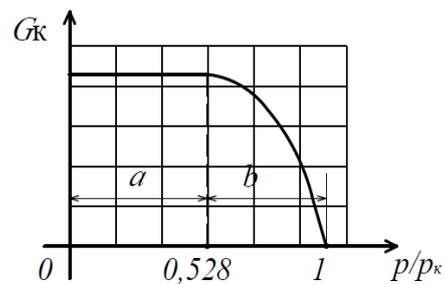
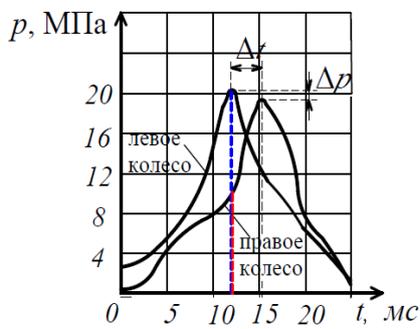
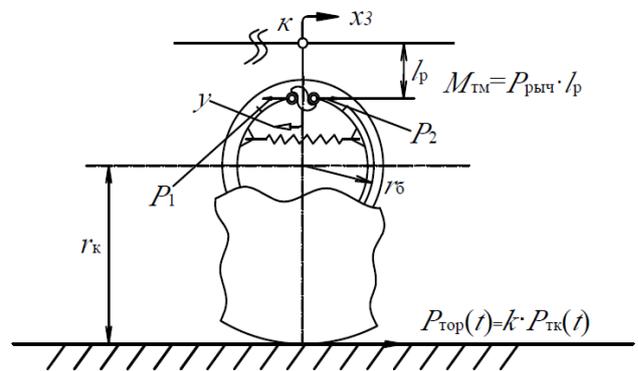
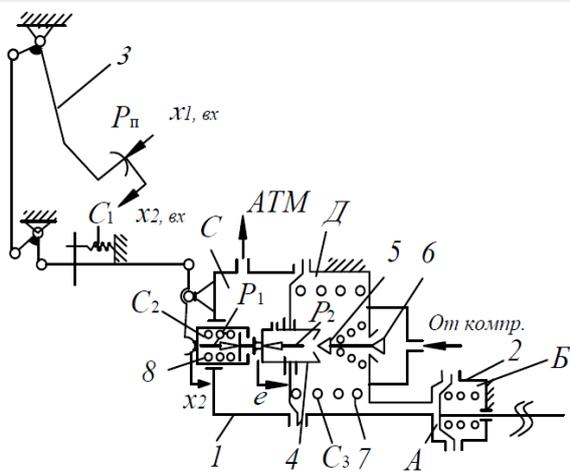
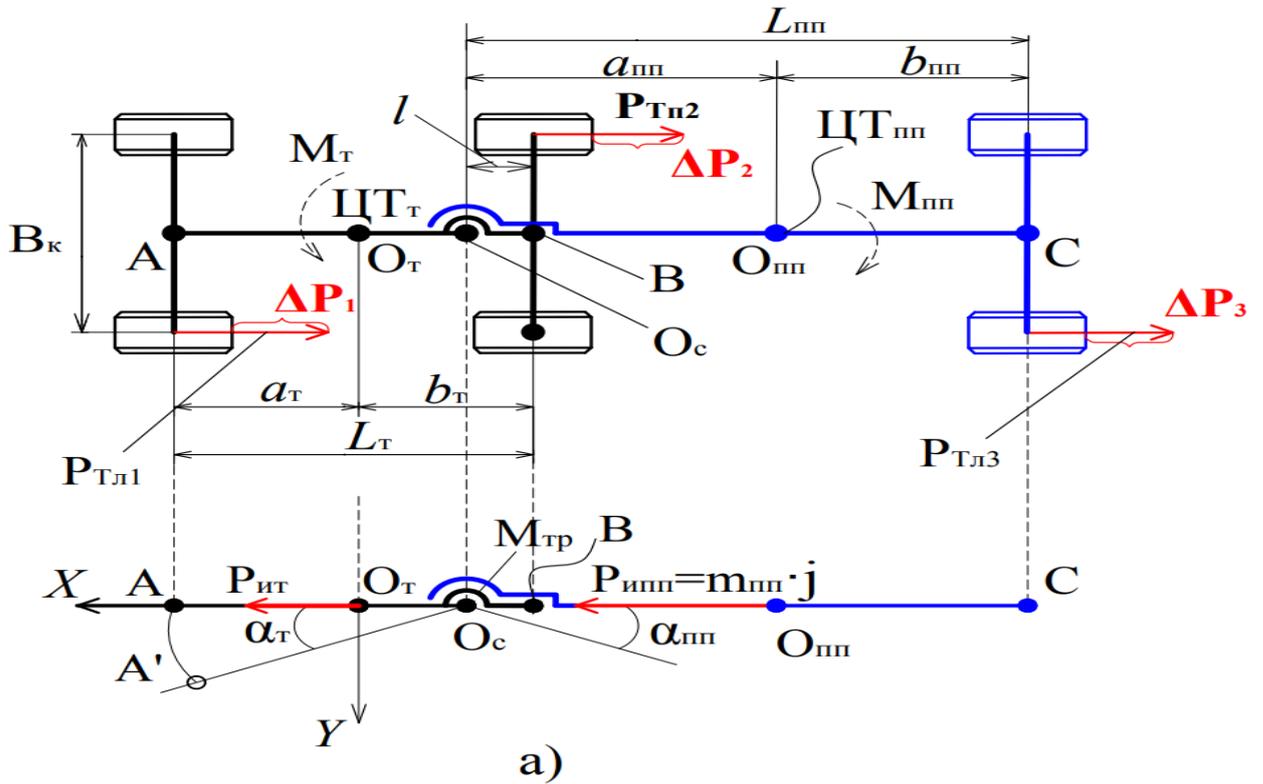


Рисунок 2.5 – Модель сил, действующих на САП при торможении

а – динамическая характеристика тормозной системы ТС; б – расчетная схема сил действия несимметрии тормозных сил по бортам автопоезда при торможении; в – зависимость весового расхода через щель от давления нагрузки; г – расчетная схема сил, действующих на САП при торможении.

где:  $l$  – смещение оси седельного устройства относительно задней оси тягача;  $M_{пп}$  – момент складывания полуприцепа;  $M_T$  – момент складывания тягача;  $M_{ТМ}$  – тормозной момент, создаваемый колесным тормозом;  $M_{Тр}$  – момент трения в седельном устройстве;  $P_{ит}$  – сила инерции тягача;  $P_{ипп}$  – сила инерции полуприцепа;  $P_{рыч}$  – силы на рычаге разжимного кулака;  $l_p$  – длина рычага разжимного кулака;  $m_{пп}$  – масса полуприцепа;  $j$  – замедление;  $ЦТ_T$  – центр тяжести тягача;  $ЦТ_{пп}$  – центр тяжести полуприцепа;  $O_c$  – точка складывания автопоезда;  $O_T$  – точка центра тяжести тягача;  $O_{пп}$  – точка центра тяжести полуприцепа;  $\alpha_T$  – угол складывания тягача;  $\alpha_{пп}$  – угол складывания полуприцепа; А – центр передней оси тягача; А' – центр передней оси при смещении точки А; В – центр задней оси тягача; С – центр задней оси полуприцепа;  $B_k$  – колея тягача;  $P_{Тл_{it}}$  – тормозная сила левого колеса  $i$ -ой оси тягача;  $P_{Тл_{ипп}}$  – тормозная сила левого колеса  $i$ -ой оси полуприцепа;  $P_{Тп_{it}}$  – тормозная сила правого колеса  $i$ -ой оси тягача;  $P_{Тп_{ипп}}$  – тормозная сила правого колеса  $i$ -ой оси полуприцепа;  $L_{пп}$  – база полуприцепа;  $a_T$  и  $b_T$  – координаты центра тяжести полуприцепа;  $a_{пп}$  и  $b_{пп}$  – координаты центра тяжести полуприцепа;  $L_T$  – колесная база тягача; Х – продольная ось; Y – поперечная ось;  $P_n$  – усилие на педаль тормоза; 1 – распределительное устройство; 2 – исполнительный механизм; 3 – рычаг педали тормоза; 4 – стакан; 5 – клапан; 6 – впускной клапан; 7 – пружина; 8 – шток, А, Б – полости тормозной камеры; С, Д – полости усилителя;  $e$  – координата смещения седла клапана;  $c_1$  – жесткость возвратной пружины;  $c_2, c_3$  – жесткости пружин штока и диафрагмы;  $x_1$  – входная координата перемещения педали тормоза;  $x_2$  – координата перемещения штока;  $x_3$  – положение штока диафрагмы.

Рассмотрим исходные теоретические положения о работе пневмопривода РТС САП.

Расчет динамики пневмосистем сводится к расчету процессов в линиях связи и пневматических исполнительных механизмах. Пневмосистема содержит всего два базовых элемента, являющихся общими для всех с точки зрения моделирования происходящих в них процессов. К ним относят:

1) пневматические элементы постоянного объема типа линий связи, которые включают в себя трубопроводы, рабочие полости (камеры), каналы в конструкциях пневмоаппаратуры;

2) пневматические элементы переменного объема типа пневматических исполнительных механизмов, включающие силовые приводы, приводные механизмы в конструкциях пневмоаппаратуры, и т.п., [39].

Расходная функция характеризует изменение расхода в рабочих полостях в зависимости от перепада давлений в трубопроводе. Вид функции зависит от характера течения газа в трубопроводе – изотермический или адиабатический.

Реальный процесс течения газа в трубопроводах носит политропический характер. Вычисление показателя политропы зависит от многих факторов и весьма затруднительно. Поэтому для упрощения расчетов в данном исследовании принят адиабатический процесс, [39].

Согласно рисунку 2.5 г входная координата  $x_1$  может быть связана с координатой  $x_2$  – перемещения штока, уравнением кинематической связи:

$$x_2 = k_1 x_1 \quad (44),$$

Тогда уравнение равновесия сил на седле клапана примет вид:

$$P_1 = P_2 \text{ или } (x_2 - e)c_2 = c_3 e + \Delta p f_d \quad (45),$$

где:  $\Delta p$  – перепад давлений на отверстии впускного клапана;  $f_d$  – активная площадь диафрагмы;  $P_1, P_2$  – силы равновесия на седле клапана.

Из уравнения следует, что смещение клапана пневмоусилителя  $e$  наступит после того, как будет преодолено сопротивление диафрагмы, которая создает силу противодействующую ее смещению и пропорциональную давлению  $p$  в полости Д.

Уравнение расходов сжатого воздуха пневмопривода тормозной системы при линеаризации уравнений идеального газа и первого закона термодинамики,

решение которых сводится к уравнению баланса энергий (46) и допущении, что координата смещения седла клапана  $e$  принадлежит и клапану, имеет вид, [52, 68]:

$$kRT_k G_k = V \frac{dp}{dt} + kp \frac{dV}{dt} \quad (46),$$

$$kRT_k G_k = \dot{p} F_4 x_3 + kp F_4 \dot{x}_3 \quad (47),$$

где:  $k$  – показатель адиабаты;  $R$  – газовая постоянная, Дж/кг·К;  $T_k$  – температура воздуха в тормозном контуре, К;  $V$  – объем воздуха, м<sup>3</sup>;  $p$  – давление воздуха в тормозной камере, МПа;  $G_k$  – весовой расход воздуха в тормозном контуре кгс/с;  $F_4$  – площадь поршня, м<sup>2</sup>;  $\dot{x}_3$  – скоростью перемещения штока диафрагмы, м/с;  $\Delta \dot{x}_3$  – изменение скорости перемещения штока диафрагмы по времени, м/с.

при  $V = F_4 \dot{x}_3$ .

Расход воздуха из ограниченного объема определен уравнением, [52, 68]:

$$G_k = K \varepsilon f_{\text{вх}} \frac{p_k}{\sqrt{RT_k}} \gamma(\sigma) \quad (48),$$

при 
$$\gamma(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}} \quad (49),$$

$$K = \sqrt{\frac{2gk}{k-1}} = 8,283 \frac{\text{м}^{1/2}}{\text{с}} \quad (50),$$

$$\sigma = \frac{p}{p_k} \quad (51),$$

где:  $G_k$  – весовой расход воздуха в тормозном контуре РТС САП, кгс/с;  $K$  – коэффициент усиления;  $\varepsilon$  – коэффициент расхода воздуха;  $f_{\text{вх}}$  – эффективная площадь входного отверстия, м<sup>2</sup>;  $\gamma$  – функция расхода сжатого воздуха;  $p_k$  – давление в тормозном контуре РТС САП, МПа;  $p$  – текущее давление в рабочей полости тормозной камеры колеса САП, МПа;  $\sigma$  – отношение текущего давления в рабочей полости тормозной камеры к давлению в тормозном контуре пневмопривода РТС  $i$ -го колеса САП;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$G_k$  зависит от скорости потока воздуха и определяется перепадом давления на входном отверстии в тормозную камеру (рисунок 2.5 в); при перепаде давления, равном нулю  $p/p_k=1$  при открытом клапане б (рисунок 2.5 г), расход сжатого воздуха, поступающий в тормозную камеру равен нулю. По мере закрытия

клапаном б входного отверстия давление уменьшается и расход, проходящий через входное отверстие увеличивается до давления  $0,528 p_k$  – такой режим течения потока воздуха называется подкритический (зона б на рисунке 2.5 в). От этого давления и ниже, скорость потока воздуха через клапан б превышает скорость звука и  $G_k$  прекращает расти – такой режим течения потока воздуха называется надкритический (зона а рисунок 2.5 в).

Определим факторы способные вызвать несимметрию тормозных сил по бортам САП, для этого рассмотрим исследуемую пневмосистему при выводе ее из равновесного состояния.

### **2.3 Факторы, вызывающие несимметрию тормозных сил по бортам САП, влияющую на механизм их складывания и причины возникновения ДТП, как факторы, вышедшие за допустимые по БДД границы**

При выводе выше рассматриваемой пневмосистемы из равновесия, выполнив линеаризацию уравнения (46), процесс в приращениях его переменных координат описан следующими уравнениями, [52, 68]:

$$\Delta G_k = k_G \Delta e - k_{Gp} \Delta p \quad (52),$$

$$k_G \Delta e - k_{Gp} \Delta p = \frac{F_4 x_3}{kRT_k} \cdot \Delta \dot{p} + \frac{pF_4}{RT_k} \cdot \Delta \dot{x}_3 \quad (53),$$

$$Q = F_1 \Delta \dot{x}_3 = k_G \frac{RT_k}{p_{уст}} \Delta e - k_{Gp} \frac{RT_k}{p_{уст}} \Delta p - \frac{F_4 x_{3,уст}}{kp_{уст}} \Delta \dot{p} \quad (54),$$

при:  $k_G = \frac{G_k}{e}$ ;  $k_{Gp} = \frac{G_k}{p}$

где:  $\Delta G_k$  – снижение величины весового расхода воздуха;  $Q$  – объемный расход воздуха, поступающий в тормозную камеру;  $k_G$  – коэффициент весового расхода воздуха через клапан при  $p=0$ ;  $k_{Gp}$  – коэффициент, учитывающий потери весового расхода воздуха на клапане;  $x_{3,уст}$  – установившееся значение положения штока диафрагмы, м;  $\Delta e$  – разница положения седла клапана при торможении, м;  $p_{уст}$  – установившееся значение действия давления сжатого воздуха на поршень, МПа.

Решив уравнение 52 относительно перепада давления на диафрагме:

$$\Delta p_i = \frac{k}{x_{i-1}} \left( \frac{f_{\text{ВХ}} k p_k \sqrt{RT_k}}{F_4} \gamma(\sigma_i) - \frac{k p_i}{x_3} \cdot \Delta \dot{x}_3 \right) \cdot \Delta t_i \quad (55),$$

где:  $\sigma_i$  – отношение давления в рабочей полости тормозной камеры к давлению в тормозном контуре пневмопривода РТС  $i$ -го колеса САП;  $p_i$  – давление при торможении в рабочей полости тормозной камеры  $i$ -го колеса САП;  $\Delta t_i$  – величина шага интегрирования.

Равновесие разжимных сил на штоке в точке к (рисунок 2.5), при допущении, что трение и инерция разжимного кулака будут опущены, определено уравнением:

$$\Delta p F = (P_{1\text{Т}} + P_{2\text{Т}}) d / 2a \quad (56),$$

где:  $P_{1\text{Т}}, P_{2\text{Т}}$  – разжимные силы кулака;  $d/2$  – плечо приложения разжимных сил относительно оси разжимного кулака;  $a$  – длина рычага разжимного кулака.

Каждая из разжимных сил формирует равнодействующую нормальных сил со стороны барабана. Равновесия сил на барабане, приведенные к разжимному кулаку определено уравнением:

$$P_p = m_{\text{пр}} \ddot{y} + \Lambda_{\text{пр}} \dot{y} + c_{\text{пр}} y \quad (57),$$

где:  $y$  – координата перемещения верхнего конца колодки;  $\dot{y}$  – скорость перемещения верхнего конца колодки;  $\ddot{y}$  – ускорение перемещения верхнего конца колодок;  $m_{\text{пр}}$  – приведенная масса колодки;  $\Lambda_{\text{пр}}$  – коэффициент приведенной демпфирующей силы, создаваемой между колодкой и кулаком;  $c_{\text{пр}}$  – приведенная жесткость стяжной пружины.

Связь между  $\dot{x}_3$  и скоростью движения верхнего конца диафрагмы  $\dot{y}$  осуществляется по уравнению:

$$\frac{Q}{F} = \dot{x}_3 = k_2 \dot{y} \quad (58),$$

где:  $k_2$  – коэффициент пропорциональности, определяемый длиной рычага разжимного кулака и профилем кулака.

На основе уравнений работы пневмопривода РТС САП построена упрощенная структурная схема, представленная на рисунке 2.6.

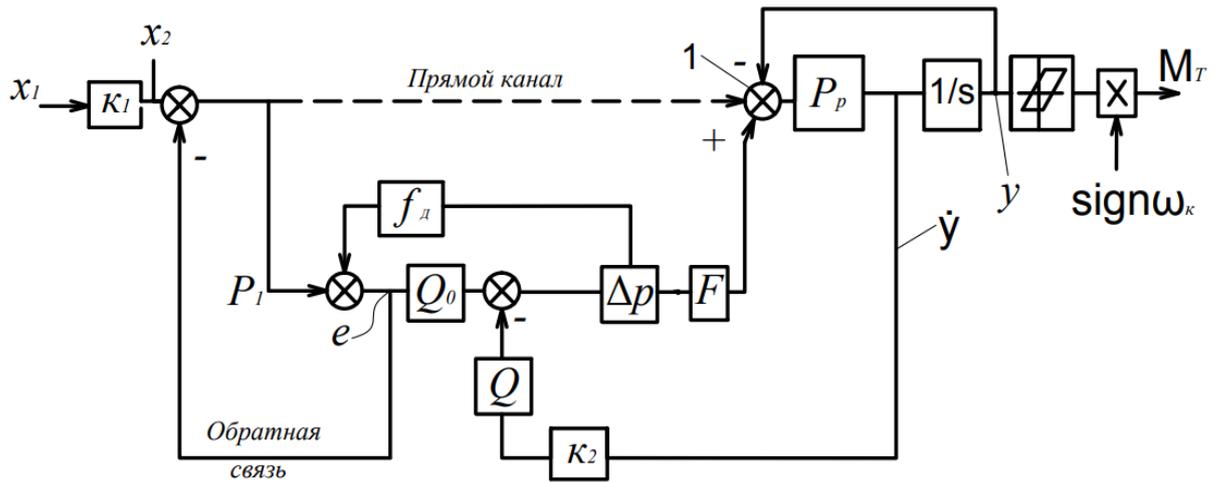


Рисунок 2.6 – Структурная схема процесса в тормозном приводе РТС САП где:  $Q_0$  – начальная величина объемного расхода воздуха, поступающая в тормозную камеру.

Поскольку в пневмоприводах прямой канал приложения сил отсутствует на схеме он изображен пунктирной линией.

Последовательность, в которой достигаются условия распределения тормозных сил по осям и бортам, определенных уравнениями 20 и 21, зависит от изменения давления в элементах пневмопривода, технического состояния РТС, а также конструкции пневмопривода РТС – длина трубопроводов, по которым распределяется сжатый воздух под давлением и т.д. В связи с чем промежуток времени от начала торможения до достижения условий равенств 20 и 21 в общем случае для каждого колеса осей САП различно. Складывание САП возникает при больших  $\Delta t$  срабатывания колес осей и различиях величин тормозной силы по бортам.

В результате проведенного анализа математической модели сил, представленной на рисунке 2.5, описывающей процесс взаимодействия элементов в тормозном пневмоприводе уравнениями с 44–58, определены факторы, способные вызвать несимметрию тормозных сил по бортам САП – утечки сжатого воздуха из элементов пневмопривода, время нарастания давление сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвигов по времени этих максимумов для разных колес, длина трубопроводов, давление и время наполнения рабочей полости рассчитываемых

элементов пневмопривода тормозных систем при внешних утечках, которые позволят обосновать механизм формирования тормозных сил по бортам САП и осуществить полную оценку труднодоступных параметров рабочих процессов функционирования пневмоприводов РТС САП.

## **2.4 Обоснование механизма формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающего «опасные» факторы возникновения ДТП**

Как известно причины – это факторы, выходящие за пределы допустимые стандартами. Для их определения и оценки технического состояния РТС САП на предмет соответствия эффективности торможения, нормативам, установленным ГОСТ 33997–2016, выполнено диагностирование 22 однотипных САП в составе тягачей Scania R 114 LA 4x2 и Cargobull Schmitz SPR 24 на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem.

На основании полученных экспериментальных данных построены графики параметров рабочих процессов эффективности действия РТС с пневмоприводом САП (рисунки 2.7 – 2.10). Далее произведен анализ механизма формирования несимметрии тормозных сил по бортам и времени их приложения для каждой из осей САП по требованиям установленным ГОСТ 33997-2016: тормозные силы первой оси левого колеса  $P_{T1_T} = 19,77$ , правого  $P_{T1_T} = 18,76$  без сдвигов во времени, при имитации неисправности  $P_{T1_T} = 18,19$  и  $P_{T1_T} = 15,54$  и сдвиг во времени составил 1,2 сек., для второй оси тягача  $P_{T2_T} = 11,12$ ,  $P_{T2_T} = 11,63$  без сдвигов во времени, при имитации неисправности  $P_{T2_T} = 8,83$ ,  $P_{T2_T} = 10,59$  – 1,3 сек, для осей полуприцепа левого борта  $P_{T3_{\text{лпн}}} = 12,48$  и правого борта  $P_{T3_{\text{лпн}}} = 12,30$  без сдвигов во времени срабатывания, при имитации неисправности левого борта  $P_{T3_{\text{лпн}}} = 11,37$  и правого борта  $P_{T3_{\text{лпн}}} = 13,05$  сдвиг во времени составил 0,85 сек, разница максимумов  $P_T$  по колесам осей САП составила 12-17%. Сравнение графиков давлений в тормозных камерах с графиками тормозных сил колес САП показывает, что торможение всех осей происходит несимметрично по причине

сдвигов по времени максимумов давлений в тормозных камерах колес, давление в тормозных камерах задней оси тягача и правого борта полуприцепа почти равны атмосферному, суммарное давление в тормозных камерах левого и правого бортов САП отличаются на 37%, тогда как суммарная тормозная сила бортов САП отличаются лишь на 7,67%. Однако в соответствии с требованиями ГОСТ 33997–2016 несимметрия тормозных сил по бортам менее 25% соответствуют техническому состоянию РТС САП допустимому к эксплуатации, что напрямую снижает уровень безопасности дорожного движения и повышает вероятность возникновения ДТП с участием САП, так как не учитывают опасные факторы, определенные в разделе 2.3.

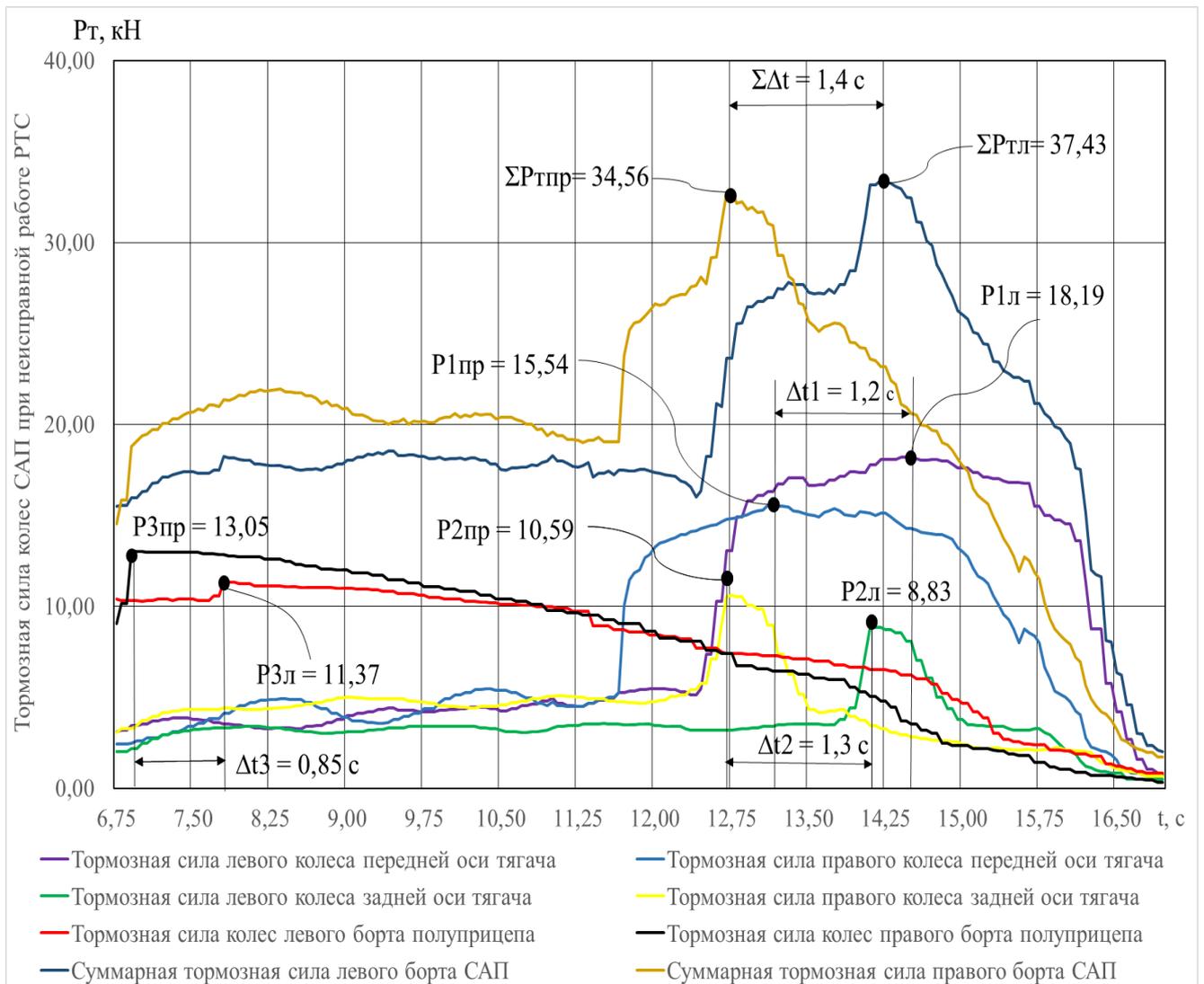


Рисунок 2.7 – Осциллограмма зависимости тормозных сил на колесах САП от времени при торможении неисправной РТС

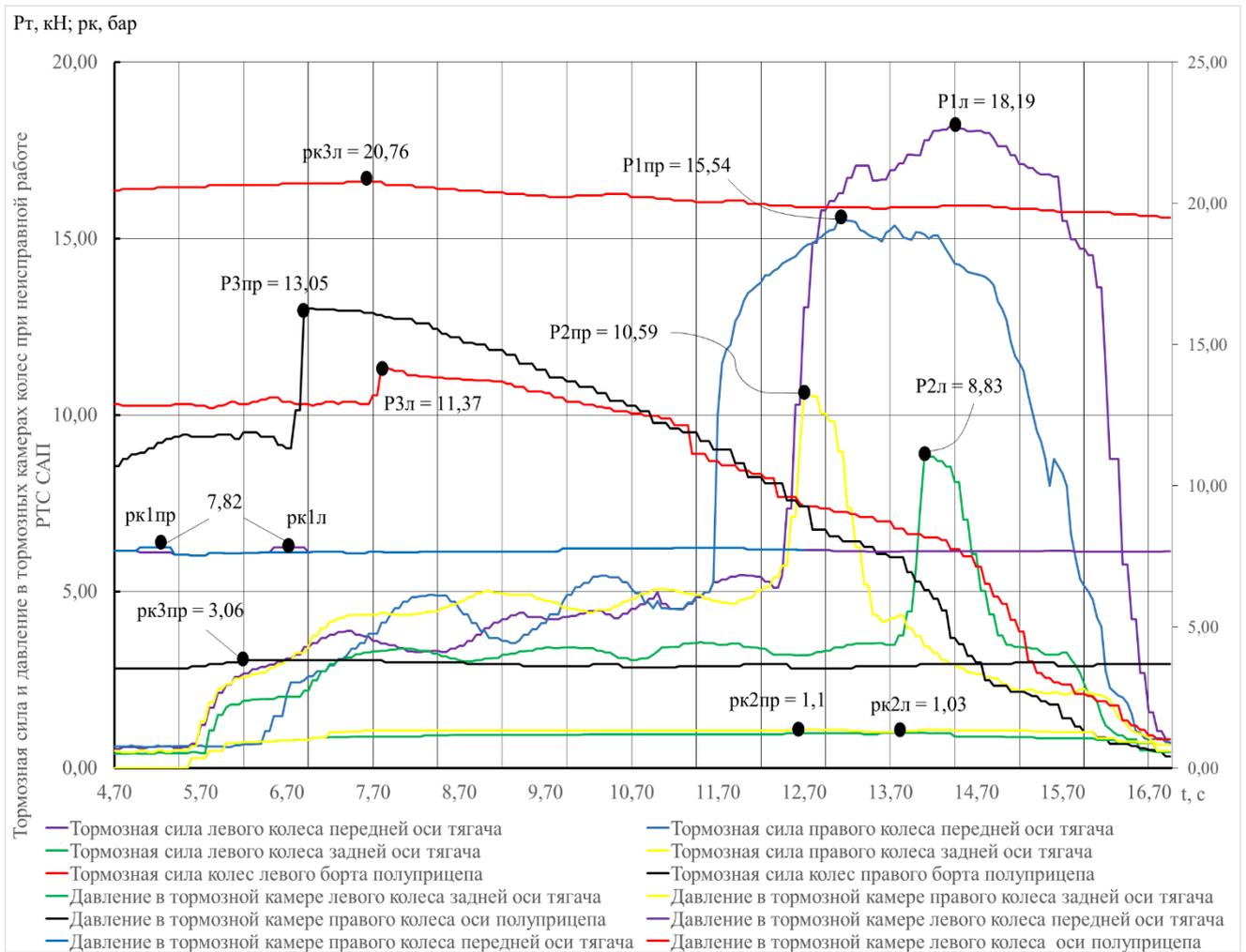


Рисунок 2.8 – Осциллограмма зависимости тормозных сил и давления в тормозных камерах колес от времени при торможении неисправной РТС САП

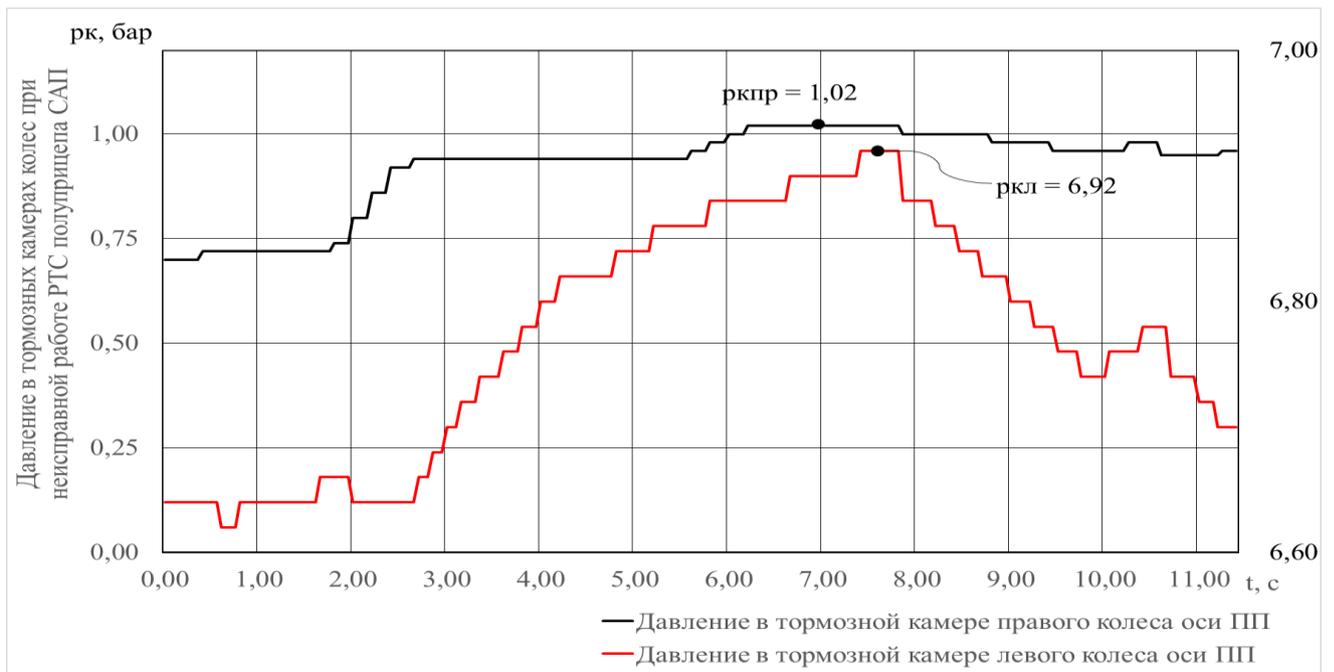


Рисунок 2.9 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес полуприцепа от времени при торможении неисправной РТС САП

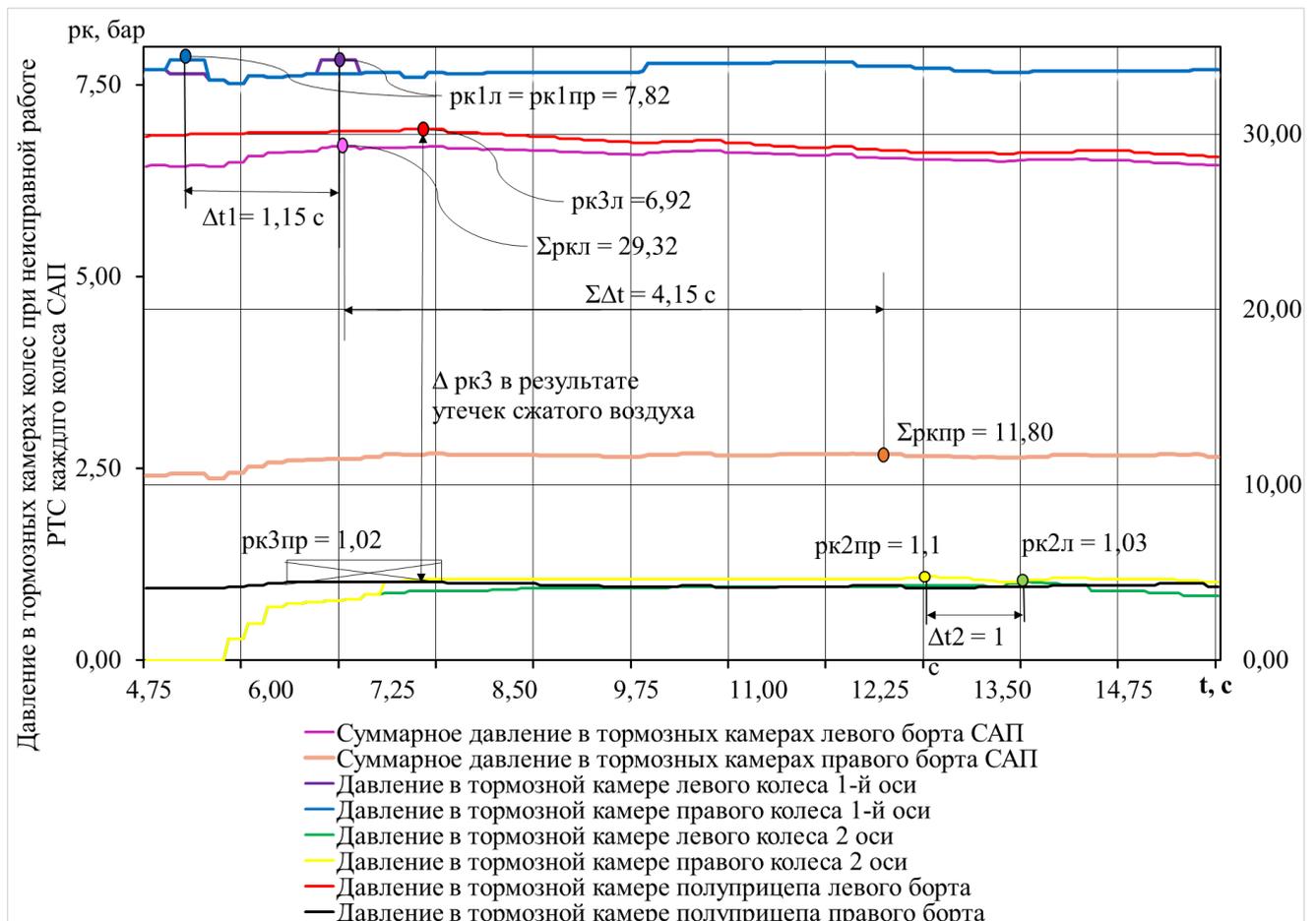


Рисунок 2.10 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес САП от времени при торможении неисправной РТС

Поток отказов, в том числе элементов пневмопривода РТС САП, подчиняется нормальному закону распределения и зависит от условий эксплуатации, пробега САП, и качества работ в системе ТО и Р. Технические неисправности САП, как правило, обусловлены низким качеством и неполным объемом ТО и Р подвижного состава, а также недостаточным и несистематическим контролем технического состояния РТС САП.

При разных значениях тормозных сил, приложенных на колеса правой и левой бортов ТС, действующих в продольном направлении, возникает поворачивающий момент, который приводит к заносу или неравномерного перераспределения нагрузки между передней и задней осями. Причинами подобного явления могут быть различное состояние накладок и барабанов, разрегулировка и увеличение зазора между накладками и барабаном, различное состояние шин и отказы, известные в теории ТО и Р, а также диагностирования РТС САП. При утечках сжатого воздуха из элементов пневмопривода РТС САП

возникает перепад давлений, что приводит к снижению функции расхода воздуха, возникновению несимметрии тормозных сил и сдвигу по времени срабатывания тормозных механизмов по бортам, которые в совокупности с влиянием величины длины трубопроводов приводят к увеличению времени срабатывания тормозных механизмов по бортам и как следствие складыванию САП.

## **2.5 Обоснование диагностирования тормозной системы САП на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem**

Методы, установленные требованиями ГОСТ 33997–2016, не дают точной оценки технического состояния пневмопривода РТС САП. Более точная и объективная оценка технического состояния тормозного управления получается по параметрам рабочих процессов функционирования пневмосистемы во времени. При контроле технического состояния тормозной системы современные силовые роликовые стенды, например, немецкой фирмы «МАНА» IW 7 Eurosystem, позволяют измерять следующие показатели: скорость вращения колеса, усилия на органе управления, тормозную силу, давление в тормозных контурах и тормозных камерах, определяет вес и все это выполняется для каждого колеса измеряемой оси АТС, т. е. в одном торможении фиксируются изменения динамики рабочих процессов тормозного привода каждого отдельного колеса, измерения всех перечисленных показателей осуществляется во времени. Итоговый массив данных позволяет оценивать функцию нарастания значений давления сжатого воздуха во времени.

По данным показателям в соответствии с ГОСТ 33997–2016 это позволяет рассчитать относительную разность тормозных сил колес по каждой оси АТС, удельную тормозную силу и для автопоезда дополнительно коэффициент совместимости звеньев САП. Кроме того, за счет высокой скорости считывания данных выдаваемых такими стендами (так, например, силовой роликовый тормозной стенд IW 7 Eurosystem считывает сигналы со скоростью 100 измерений в сек.) и способности обеспечить скорость вращения колес и другие условия,

совершенно идентичные предыдущим, что обеспечивается точным заданием начальной скорости торможения внешним приводом, достигаются достаточно точные результаты проверки тормозных систем САП. При этом тормозной стенд дополнительно взвешивает каждую ось, тем самым позволяя рассчитать по фактическому весу тормозную силу. В дорожных испытаниях такие показатели не получить. Также отличительной особенностью современных роликовых тормозных стендов является наличие микропроцессорных и программных средств, позволяющих расширить диапазон измеряемых и вычисляемых диагностических параметров.

В РФ две компании – «МЕТА» г. Жигулевск и «ГАРО» г. Великий Новгород, которые производят тормозные стенды. Стенды данных компаний сертифицированы Госстандартом России и позволяют выполнять проверку технического состояния тормозных систем ТС, методами, полностью соответствующими требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» и ГОСТ 33997–2016. Однако, в Европейском Союзе ведущие позиции по производству средств технического контроля ТС занимает фирма «МАНА». Технические характеристики стендов указанных компаний приведены в таблице 2.1, [82, 88, 107].

Таблица 2.1 – Технические характеристики тормозных стендов

	Наименование стенда	BDE 4504 N SC PC 1 SmG 20t компания ГАРО	СТМ-16000.02 (ЛТК-С 16000.02) фирма МЕТА	IW 7 Eurosystem (MBT 7250 Eurosystem) фирма МАНА
1	Максимальная нагрузка на ось, кг	100–20000	16000	18000
2	Диапазон измерений тормозной силы (на одном колесе), кН	0–40	0–40	0–60
3	Диапазон измерений силы на органе управления тормозной системы, Н	0–1000	0–1000	0–1000
4	Скорость считывания сигналов	20 измерений в сек	20 змерений в сек	100 измерений в сек
5	Начальная скорость торможения, имитируемая на стенде, км/ч	2,6	2	3/6
6	Диаметр колес ТС, мм	520–1300	600–1200	520–1300
7	Ширина колеи, мм	800/2800	900–2900	800–2800

Продолжение таблицы 2.1

8	Электропитание, В	380	380	380
9	Потребляемая мощность электрооборудования, кВт	30	16	2x11
Габаритные размеры опорного устройства левое (правое), мм				
11	Длина	1200	800	2225
12	Ширина	1235	2010	862
13	Высота	700	440	400
14	Измеряемые показатели	- усилие на органе управления тормозной системы; - тормозная сила на одном колесе, - давления воздуха в пневмоприводе.	- масса, приходящаяся на ось; - усилие на органе управления; - тормозная сила;	для каждого измеряемого колеса: - скорость вращения; - усилие на органе управления; - тормозная сила; - давление в тормозных контурах и тормозных камерах; - вес; - относительная разность тормозных сил измеряемой оси.

К внешним переносным СТД относится прибор Эффект – 02, его технические характеристики представлены в таблице 2.2, [85].

Таблица 2.2 – Технические характеристики прибора Эффект – 02

№	Параметры измерения	Ед. измерения	Значение
1	установившееся замедление ( $j_{уст}$ )	м/с <sup>2</sup>	0...9,81
2	усилие нажатия на педаль ( $P_{п}$ )	кгс (Н)	10...100 (98...980)
3	тормозной путь $S_T$	м	0...50
4	начальная скорость торможения $V_0$	км/ч	20...50
5	пересчитанная норма тормозного пути $S_T^*$	м	0...50
6	время срабатывания тормозной системы $t_{ср}$	с	0...3
7	Скорость считывания сигналов	20 измерений	сек
Пределы основной допускаемой относительной погрешности			
1	установившееся замедление	%	±4

Продолжение таблицы 2.2

2	усилие нажатия на педаль	%	±5
3	время срабатывания тормозной системы	%	±0,1
Параметры прибора			
1	напряжение питания	В	12±2
2	потребляемая мощность	Вт	не более 2
3	Габаритные размеры электронного блока	мм	206x75x38
4	Габаритные размеры датчика усилия	мм	135x95x70
5	Масса электронного блока	кг	0,4
6	Масса датчика усилия	кг	0,5

Прибор Эффект – 2 – это измеритель эффективности тормозных систем, который применяется при проверке тормозных систем методом дорожных испытаний грузовых и легковых автомобилей, автобусов и автопоездов при проведении государственного технического осмотра, а также при выполнении автотехнической экспертизы ТС, в процессе эксплуатации и иных случаях, требующих оперативного контроля состояния тормозной системы ТС. Эффект – 02 устанавливается в салоне автомобиля в вертикальном рабочем положении, прибор крепится с помощью прижима на вертикальной плоскости двери автомобиля.

Функции:

- Измерение характеристик торможения и устойчивости;
- Графическое отображение динамики характеристик торможения торможения на мониторе в реальном масштабе времени при подключении измерителя к ПЭВМ;
- Ввод параметров и категорий автомобиля в память прибора и распечатка протокола измерений на портативном печатающем устройстве;
- Расчет нормы тормозного пути для любой скорости начала торможения;
- Возможна установка прибора на боковом стекле автомобиля или на полу в кабине автомобиля.

Достоинства:

- Возможность работы с линией технического контроля (ЛТК) с автоматической передачей результатов измерений и характеристик автомобиля;
- Удобный буквенно-цифровой дисплей;
- Автономное питание от собственной аккумуляторной батареи;
- Электронный датчик горизонтального положения;
- Буквенно-цифровая индикация;
- Двухкоординатный акселерометр.

Принимая во внимание вышеперечисленные достоинства стендовых средств диагностирования для проверки технического состояния эффективности работы РТС САП, сравнив и проанализировав технические характеристики стендов и сопоставив их с технической характеристикой прибора Эффект – 2 (таблица 2.2), предназначенного для дорожных испытаний, принято решение произвести исследование по оценке рабочих параметров РТС и соответствии их диагностическим параметрам при имитации дефектов различной степени развития на силовом роликовом тормозном стенде немецкой фирмы «МАНА» IW 7 Eurosystem, так как его характеристики, в том числе по скорости считывания данных, самые высокие – 100 измерений в сек.

## **2.6 Выводы по главе 2**

Поскольку объектом исследования является процесс торможения САП и влияние технического состояния РТС на эффективность торможения, то ТС, имеющие конструктивные отличия РТС, нельзя объединить в одну группу. Для автопоездов возможен вариант исследования только однотипных моделей. В связи с этим, для организации эксперимента использовались 22 САП (приложение 4) автотранспортного предприятия ООО «Миларин» в составе тягача марки Scania R 114 LA4X2LA 340 SLA с трехосными полуприцепами марки Schmitz Cargobull SPR 24 G, оборудованные пневматическими тормозными системами с барабанными

колесными тормозами и силовой роликовый тормозной стенд немецкой фирмы «МАНА» IW 7 Eurosystem.

В составе СПбГАСУ действует ИБДД. Его руководители развивают научную школу, готовят специалистов в области БДД и расследования ДТП, определяют направления научных исследований, в том числе охватывающих большой сегмент расследования ДТП, работ в исследовании эффективности действия тормозных систем разных видов ТС.

Научные исследования и обоснование процесса торможения транспортных средств описаны в трудах Чудакова Е.А., Гуревича Л.В., Меламуда Р.А., Вахламова В.К., Литвинова А.С. Закина Я.Х. Они рассматривали тормозные свойства одиночного автомобиля и САП, приведены и ранжированы по степени значимости причины складывания составного транспортного средства в процессе торможения. В труде Литвинова А.С. представлены 3 фактора определяющих процесс складывания автопоезда при торможении и прямолинейном движении: 1) время начала действия тормозных механизмов задних осей относительно управляемой оси САП; 2) торможение всех тормозных механизмов синхронно; 3) полуприцеп усиливает торможение тягача, обеспечивая растяжку САП, исключает складывание.

Указанные исследования внесли огромный вклад в развитие науки в предшествующие годы, послужили основой для написания учебной литературы в этой области. Для упрощения процесса расчета показателей тормозных свойств использовался прием рассмотрения линейной математической модели, так называемой «велосипедной схемы», которая для решения поставленных нами задач не обладает необходимой наглядностью, информативностью и не учитывает механизм формирования тормозных сил по бортам ТС. Однако именно результаты этих исследований легли в основу разработанных и действующих нормативных документов.

Развитие внешних СТД и оснащение ЛТК роликовым тормозным стендом с большей дискретностью сигналов об измеряемых параметрах, а также опцией – комплектом датчиков давления с передачей значения давления воздуха на участках

пневмопривода РТС по радиоканалам, позволили диагностам оценивать изменяющееся во времени давление в каждом участке контуров РТС и функцию действия тормозных сил каждого колеса ТС по времени. Эти параметры рабочего процесса непосредственно влияют на действие несимметрии тормозных сил по бортам в системе тягач-полуприцеп и являются причинами, вызывающими складывание САП.

В действующей практике при стендовом контроле техническое состояние пневмоприводов РТС САП представляются «черным ящиком». В нем измерению подлежит входной сигнал – сила на тормозной педали, и выходной - тормозная сила. Связь между этими сигналами в начальной и конечной фазах контроля не содержит полной информации о внутреннем состоянии этого «ящика» (диагностируемой системы) – так же, как и объемные утечки сжатого воздуха, не показано, где внутри тормозной системы преобразуется усилие на педали тормоза в тормозную силу, затормаживающую колеса.

Для предупреждения неисправностей и отказов пневмопривода РТС САП, и как следствие причин складывания САП, были проведены экспериментальные исследования на тормозном роликовом стенде и получены оценочные показатели эффективности действия пневмопривода РТС САП с допустимой величиной погрешности измерений, учитывающие «опасные» факторы возникновения ДТП. Данные исследования были проведены в коллективе со специалистами ИБДД.

## **ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований**

Целью экспериментальных исследований являлось измерение параметров рабочих процессов функционирования пневмопривода РТС САП и сопоставления их с диагностическими параметрами при имитации дефектов различной степени развития на силовом роликовом тормозном стенде немецкой фирмы «МАНА» IW 7 Eurosystem (приложение 3) для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам на механизм складывания САП.

При выполнении эксперимента были решены следующие задачи:

1. Измерены параметры рабочих процессов функционирования РТС САП при имитации дефектов различной степени развития, которые вызывают несимметрию действия тормозных сил по бортам САП;
2. Практически обоснован механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП;
3. Обоснована структура средств технического обеспечения исследуемой задачи;
4. Разработана методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обосновано допустимое по БДД техническое состояние по факторам для пневмопривода каждого колеса САП;
5. Разработана методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки свойств.

### **3.2 Натурный эксперимент для опробования методики**

В соответствии с методикой контроля, установленной ГОСТ 33997–2016 и планом организации экспериментального исследования технического состояния РТС САП на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem (рисунки 3.1

и 3.2) произведено измерение 22 САП в составе тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 автопредприятия «Миларин» (приложение 4).

В соответствии с полученным протоколом проверки технического состояния САП Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA VIN № 9BSR4X20003592673 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 VIN № WSM0000003146303 (приложение 4) на ЛТК, с помощью программного обеспечения IW 7 Eurosystem, подтверждено, что для испытания представлен САП с исправной РТС.



Рисунок 3.1 – Станция технического обслуживания Центра «Автоэксперт» с силовым роликовым тормозным стендом IW 7 Eurosystem

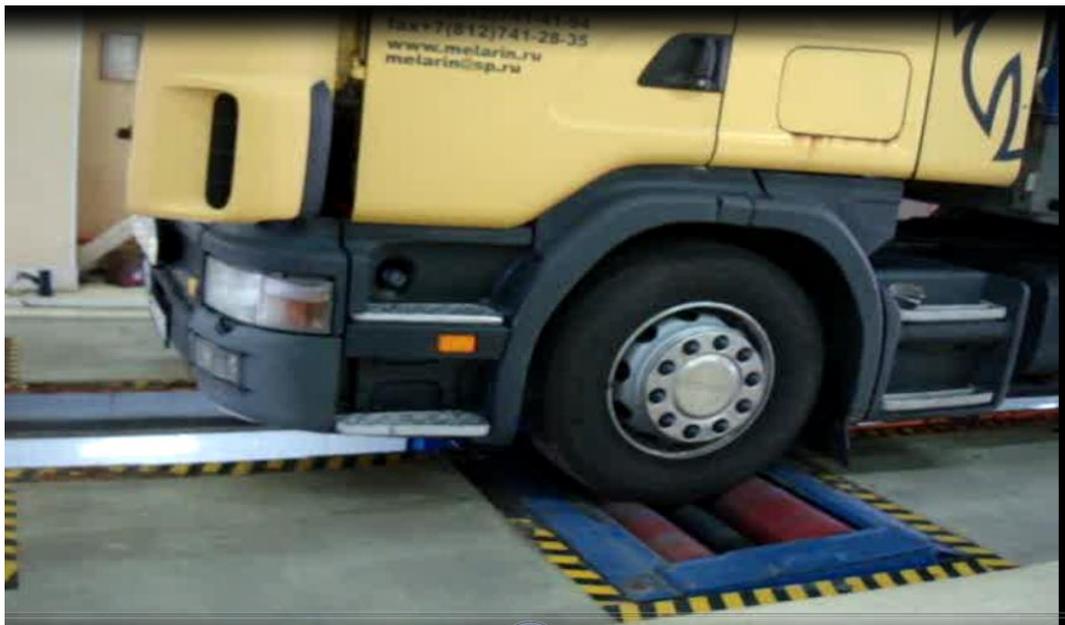


Рисунок 3.2 – Установка передней оси тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem

Ввиду того, что данные протокола технического состояния не противоречили значениям параметров процессов, установленных в нормативно-технической документации, перечисленные ниже графики рабочих процессов, полученные посредством штатных и расширенных возможностей стенда, для указанного САП, были приняты за эталонные (на рисунках 3.3–3.6 представлены графики для осей САП, остальные данные приведены в приложении 1).

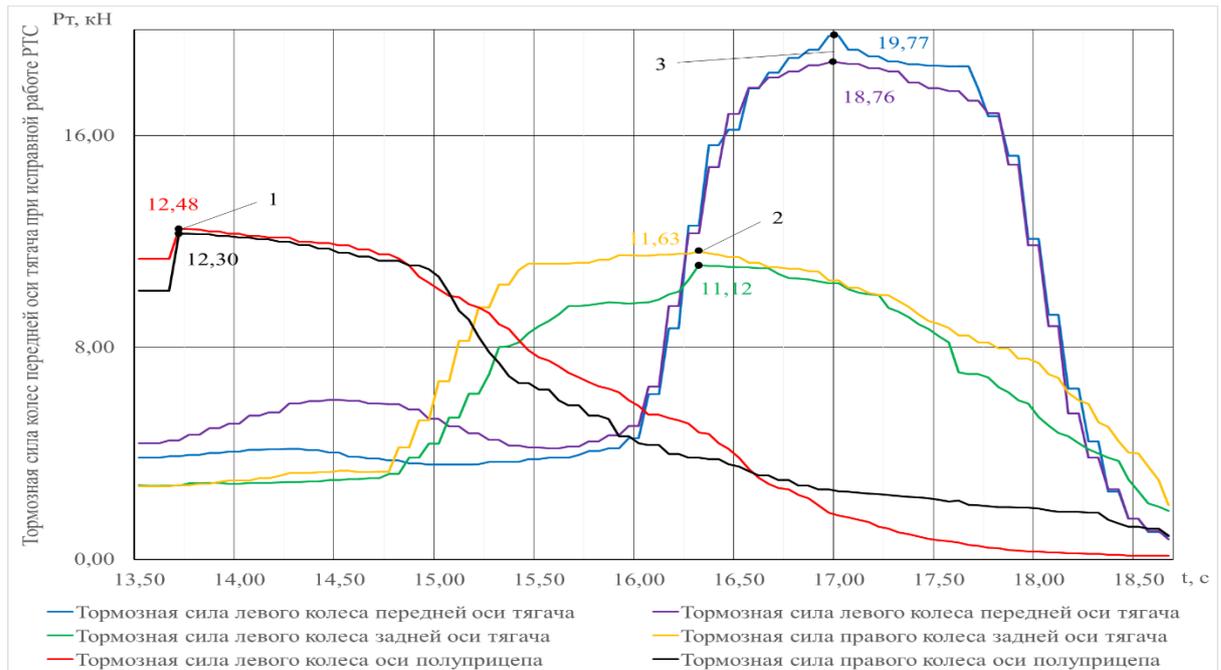


Рисунок 3.3 – Осциллограмма зависимости тормозных сил колес САП от времени при торможении исправной РТС

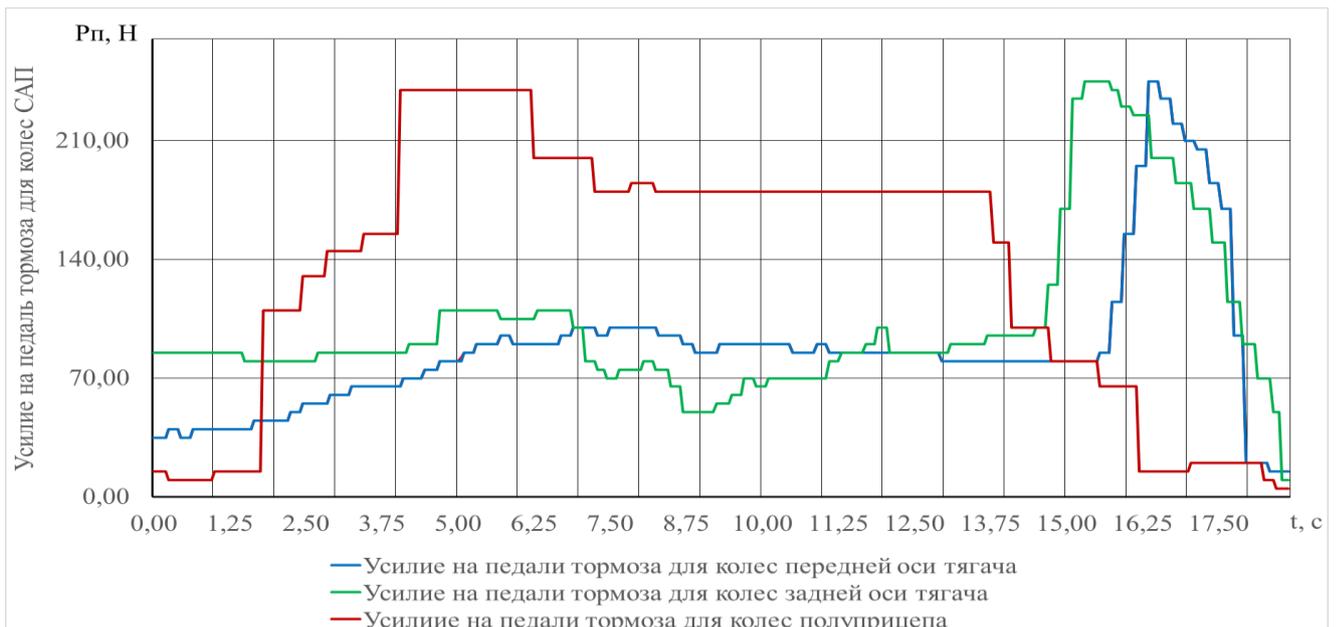


Рисунок 3.4 – Осциллограмма зависимости усилия на педаль тормоза при действии на колеса САП от времени при торможении исправной РТС

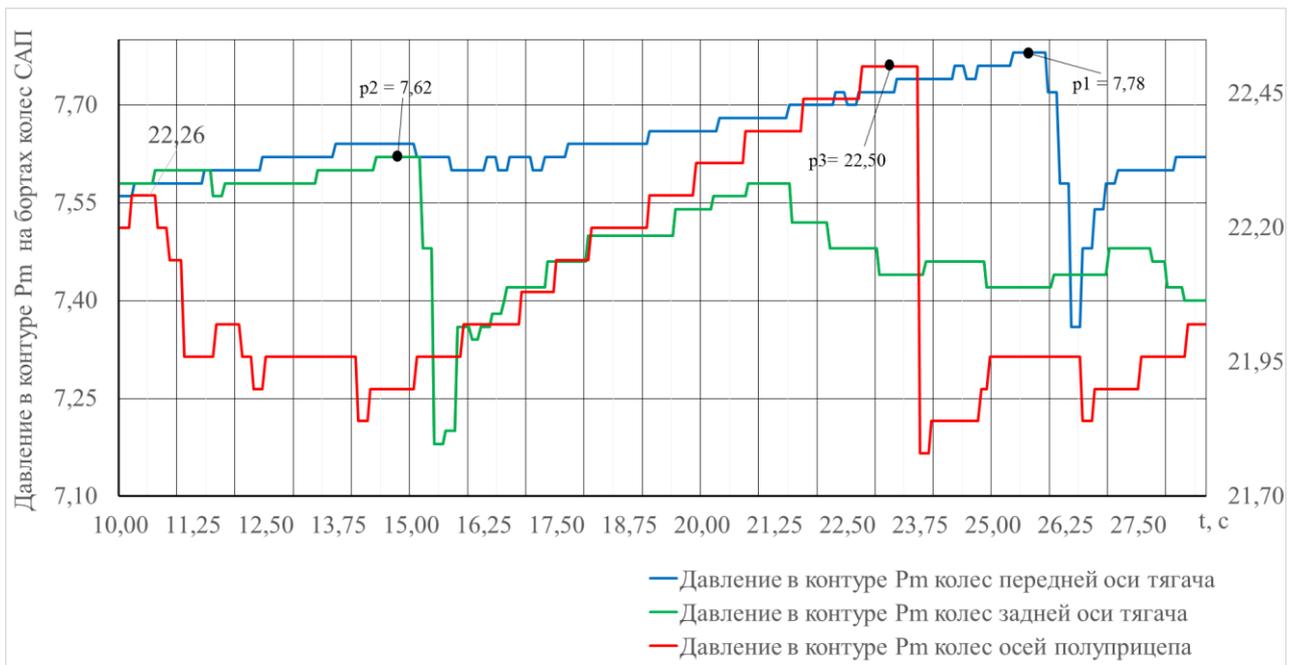


Рисунок 3.5 – Осциллограмма зависимости давления в тормозном контуре колес САП от времени при торможении исправной РТС

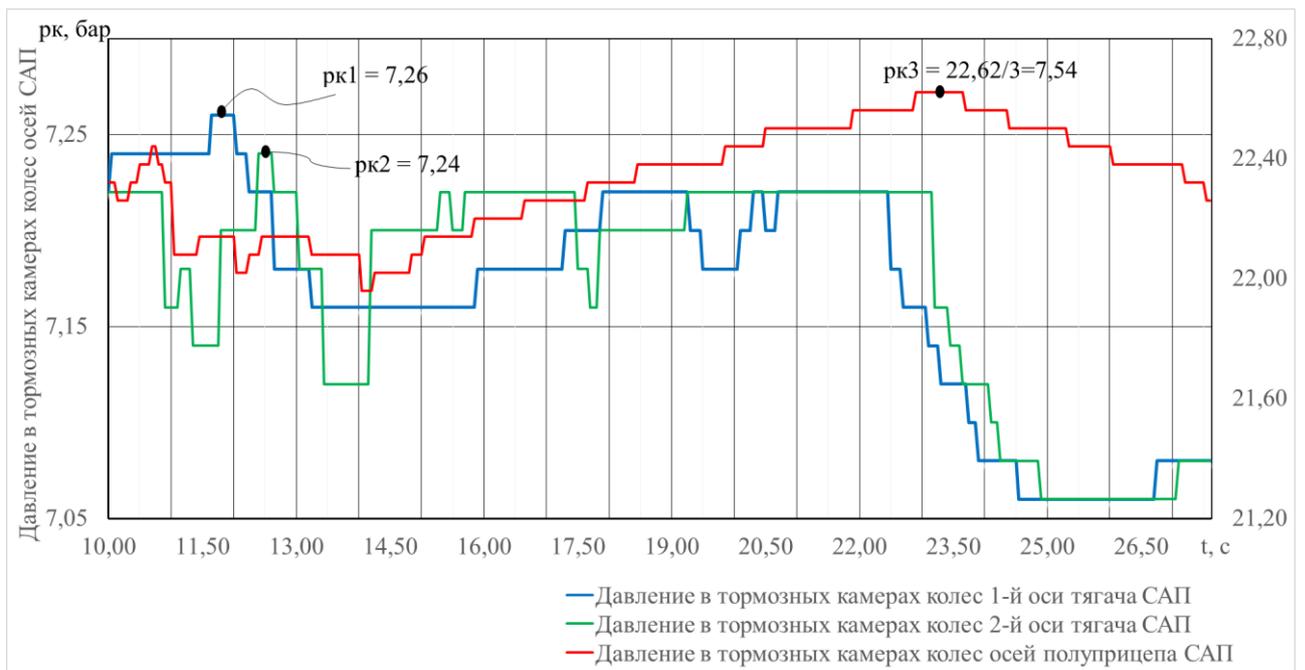


Рисунок 3.6 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес САП от времени при торможении исправной РТС

По стандартной методике получены:

- графики измерения тормозной силы для левого и правого колес измеряемых осей тягача и полуприцепа;
- графики измерения усилия на педаль для левого и правого колес измеряемых осей тягача и полуприцепа;

Расширенная комплектация тормозного стенда пневматическими радиодатчиками давления с передачей информации в измерительно-вычислительный комплекс по радиоканалам позволили получить данные недоступные оценке диагностов ранее, которые после обработки позволили построить графики параметров рабочих процессов, несущих значимую диагностическую информацию о техническом состоянии РТС в целом, каждого ее участка и тормозных механизмов:

- графики измерения давления в контуре для левого и правого колес измеряемых осей тягача и полуприцепа;

- графики измерения давления в тормозной камере для левого и правого колес измеряемых осей тягача и полуприцепа.

Натурный эксперимент проведен в соответствии с представленным ниже планом (рисунок 3.7)

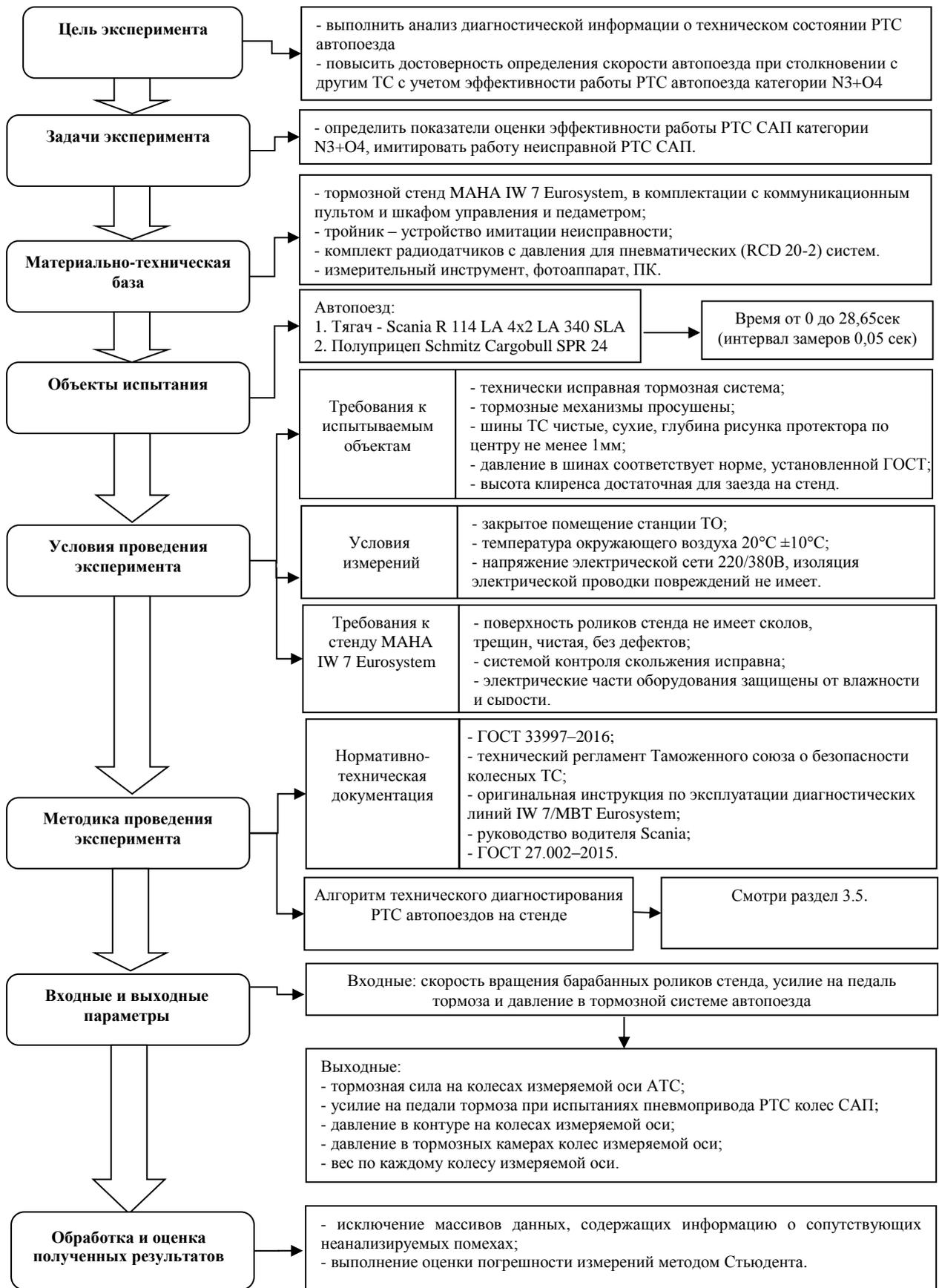


Рисунок 3.7 – План организации экспериментального исследования

1. В связи с недопустимостью внесения в конструкцию эксплуатируемого САП заведомо привнесенных неисправностей было принято решение при проведении эксперимента имитировать утечку воздуха рабочего тела пневмопривода РТС посредством внешнего подключения к контрольным точкам соответствующих магистралей устройства имитации неисправности и контроля падения давления на участке. Это устройство представляет собой тройник (рисунок 5 приложения 1), вход которого имеет специальный выступ для нажатия клапана контрольного вывода пневмопривода на участке магистрали: первый вывод предназначен для подключения датчика давления с передачей радиосигнала на пульт управления ЛТК, второй вывод предназначен для подключения шарового крана для имитации утечки воздуха из системы.

2. При подключении устройства с закрытым краном, т.е. имитируя исправную систему, выявлено, что полученные для участков магистрали пневмопривода значения диагностических параметров соответствуют параметрам рабочих процессов, полученным в первой части эксперимента, т.е. на исправном САП.

3. В соответствии с ранее принятой методикой проверки задали утечку, при которой предварительно приведенная в нормальное рабочее состояние РТС (т.е. давление по манометру в кабине водителя и с датчика  $P_m$  на выходе из компрессора равнялось 0,6 МПа) на протяжении 15 мин. При выключенном двигателе значение давления снизилось до 0,55 МПа, т.е. на 0,05 МПа и провели поочередно испытание всех осей тягача и полуприцепа. Полученные графики соответствуют диагностическим параметрам нижнего предела параметров допустимых к регулировке.

4. При увеличении проходного сечения крана, обеспечивающего утечку сжатого воздуха до давления на участке РТС от компрессора до тормозного крана при включенном тормозе до значений давления от верхней 0,55 МПа границы до нижней границы 0,42 МПа, мы получили диапазон диагностических параметров, соответствующих значениям параметров технического состояния, при которых необходимы проведение ремонтных и регулировочных работ.

5. Значение диагностических параметров при утечках, характеризующихся давлением в системе от 0 до 0,4 МПа, однозначно свидетельствуют о неисправности пневматического тормозного привода и необходимости прекращения эксплуатации до выполнения ремонтных работ и устранения неисправностей.

Примечание: методика является универсальной для автомобилей и тягачей с полуприцепами (прицепами), оборудованных пневматическим и пневмогидравлическим приводами рабочей и стояночной тормозных систем независимо от того оборудованы ли указанные АТС электронными системами ABS, ESP, EBS. Границы диапазонов диагностических параметров необходимо устанавливать в соответствии с технической документацией на конкретную модель ТС. Кроме того, значение указанных диапазонов, как правило, имеются на контрольном манометре на панели приборов водителя.

6. В случае если значения параметра рабочего процесса датчика  $P_m$  превышает для испытуемого АТС верхнюю границу рабочего диапазона (зеленой зоны) по манометру на панели приборов водителя, то перед проведением контрольно-диагностических работ необходимо устранить неисправность в ограничителе давления пневмопривода.

7. В результате проведенного эксперимента получены сводные графики рабочих процессов, которые для различного технического состояния пневмопривода РТС САП в режиме реального времени характеризуют их соответствие диагностическим параметрам конкретного диапазона на проверяемом участке. Это позволило:

- дать общую характеристику технического состояния пневмопривода РТС САП;
- локализовать участок, на котором система не герметична;
- дать рекомендацию о необходимости проведения технического воздействия системы – регулировки или ремонта конкретного участка магистрали или тормозного механизма.

Таким образом, были проведены стендовые испытания по 22 САП в составе тягача и полуприцепа (приложение 4), по результатам которых получены параметры рабочих процессов функционирования пневмопривода РТС САП, позволяющие обосновать допустимое по БДД его техническое состояние.

Данные экспериментальных исследований по параметрам рабочих процессов функционирования РТС САП представлены в таблицах 3.1–3.6, а также на рисунках 3.3–3.6 представлены осциллограммы для каждого колеса САП, остальные данные по САП приведены в приложении 1. Выполненная оценка погрешности полученных данных методом Стюдента показывает адекватность измеренных данных, основные результаты приведены в приложении 6.

Таблица 3.1 – Измерения параметров рабочих процессов РТС САП по результатам стендовых испытаний колес передней оси тягача автопоезда при исправной РТС

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
1	Тормозная сила колес измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	кН	$P_T(t)$	21,0	21,0-зел; 17,0-9,0-ж; 9,0-0-к	19,77 18,76
2	Усилие, прикладываемое к органу управления рабочей тормозной системы: - левое колесо - правое колесо	Н	$P_{п}(t)$	245	245-зел; 257-ж; 266-к;	245 245
3	Давление в контуре на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p(t)$	0,60-0,81	0,60-0,81-зел; 0,42-0,55-ж; 0,55-0,60-ж; 0-0,42-к; 0,81-1,25-к.	0,778 0,778
4	Давление в тормозных камерах на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p_k(t)$	0,6-0,81	0,60-0,81-зел; 0,42-0,55-ж; 0,55-0,60-ж; 0-0,42-к; 0,81-1,25-к.	0,726 0,726

Примечание: зел. – диапазон диагностических параметров, соответствующий исправной РТС, ж – диапазон диагностических параметров, соответствующий техническому состоянию, при котором необходимо проведение регулировочных

работ,  $k$  – диапазон диагностических параметров, соответствующий необходимости проведения ремонтных работ

Таблица 3.2 – Измерения параметров рабочих процессов РТС САП по результатам стендовых испытаний колес передней оси тягача при неисправной РТС

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
1	Тормозная сила колес измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	кН	$P_T(t)$	21,0	21,0–17,0-зел; 17,0–9,0-ж; 9,0–0-к	18,19 15,53
2	Усилие, прикладываемое к органу управления рабочей тормозной системы: - левое колесо - правое колесо	Н	$P_p(t)$	245	245-зел; 257-ж; 266-к;	100 100
3	Давление в контуре на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p(t)$	0,60–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,85 0,85
4	Давление в тормозных камерах на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p_k(t)$	0,60–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,782 0,782

Таблица 3.3 – Измерения параметров рабочих процессов тормозной системы САП по результатам стендовых испытаний колес задней оси тягача автопоезда при неисправной РТС

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
1	Тормозная сила колес измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	кН	$P_T(t)$	12,00	12,0–9,0-зел; 9,0–4,0-ж; 4,0–0-к	8,83 10,59
2	Усилие, прикладываемое к органу управления рабочей тормозной системы: - левое колесо - правое колесо	Н	$P_p(t)$	245	245-зел; 257-ж; 266-к;	300 300

Продолжение таблицы 3.3

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
3	Давление в контуре на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p(t)$	0,6–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к;	0,804 0,804
4	Давление в тормозных камерах на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p_k(t)$	0,60–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,103 0,110

Таблица 3.4 – Измерения параметров рабочих процессов тормозной системы автопоезда по результатам стендовых испытаний колес задней оси тягача автопоезда при исправной РТС

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
1	Тормозная сила колес измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	кН	$P_T(t)$	12,00	12,0– 9,0-зел; 9,0–4,0-ж; 4,0–0-к	11,12 11,63
2	Усилие, прикладываемое к органу управления рабочей тормозной системы: - левое колесо - правое колесо	Н	$P_p(t)$	245	245-зел; 257-ж; 266-к;	245 245
3	Давление в контуре на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p(t)$	0,6–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,764 0,764
4	Давление в тормозных камерах на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p_k(t)$	0,60–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,724 0,724

Таблица 3.5 – Измерения параметров рабочих процессов тормозной системы автопоезда по результатам стендовых испытаний колес оси полуприцепа при исправной РТС

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
1	Тормозная сила колес измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	кН	$P_T(t)$	7,0	7,0– 4,0-зел; 4,0–2,0-ж; 2,0–0-к	4,16 4,10
2	Усилие, прикладываемое к органу управления рабочей тормозной системы: - левое колесо - правое колесо	Н	$P_p(t)$	245	245-зел; 257-ж; 266-к;	150 150
3	Давление в контуре на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p(t)$	0,6–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,75 0,75
4	Давление в тормозных камерах на колесах измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	МПа	$p_k(t)$	0,60–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,754 0,754

Таблица 3.6 – Измерения параметров рабочих процессов тормозной системы автопоезда по результатам стендовых испытаний колес оси полуприцепа при неисправной РТС

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
1	Тормозная сила колес измеряемой оси: - левое колесо - правое колесо	кН	$P_T(t)$	7,0	7,0– 4,0-зел; 4,0–2,0-ж; 2,0–0-к	3,79 4,35
2	Усилие, прикладываемое к органу управления рабочей тормозной системы: - левое колесо - правое колесо	Н	$P_p(t)$	270	245-зел; 257-ж; 266-к;	205 205
3	Давление в контуре на колесах измеряемой оси:	МПа	$p(t)$	0,6–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж;	

Продолжение таблицы 3.6

№ п/п	Измеряемый параметр рабочего процесса	Ед. изм.	Математическая зависимость	Номинальное значение	Диапазоны диагн. пар-в	Изм. знач-я
3	-левое колесо - правое колесо				0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,69 0,69
4	Давление в тормозных камерах на колесах измеряемой оси: -левое колесо - правое колесо	МПа	рк(t)	0,60–0,81	0,60–0,81-зел; 0,42–0,55-ж; 0,55–0,60-ж; 0–0,42-к; 0,81–1,25-к.	0,692 0,102

По результатам эксперимента определены диапазоны значений различных технических состояний пневмопривода РТС САП, которые характеризуют допустимое по БДД техническое состояние по факторам для пневмопривода каждого колеса САП и позволяют принять решение о необходимости, составе и видах работ по приведению, в случае целесообразности, этих параметров в диапазоны соответствующе исправному состоянию.

На основе проведенных исследований практически обоснована структура средств технического обеспечения исследуемой задачи.

### 3.3 Структура средств технического обеспечения исследуемой задачи

Структура средств технического обеспечения исследуемой задачи состоит из диагностической линии немецкой фирмы «МАНА» с пневматическими радиодатчиками давления сжатого воздуха и тройника, используемого для имитации утечек сжатого воздуха в элементах пневмопривода РТС САП.

Для эксперимента в нашем диссертационном исследовании были проанализированы характеристики технических средств диагностирования тормозных систем немецкой фирмы «МАНА», русских фирм «ГАРО», «МЕТА» и прибора для дорожных испытаний ЭФФЕКТ – 2. В результате сравнения технических возможностей, опций и программного обеспечения, для проведения экспериментального исследования мы остановили выбор на силовом роликовом тормозном стенде «МАНА» IW 7 Eurosystem. Выбранное средство оснащено

радиопультот дистанционного управления с комплектом пневматических радиодатчиков давления, обеспечивающими подачу радиосигналов на АИВК, дистанционно с наименьшим шагом дискретизации сигналов регистрации измеряемых параметров, что позволяет определить параметры с высокой степенью точности. Такие технические характеристики позволяют оценивать функцию изменяющегося во времени давления в каждом участке контуров РТС САП (рисунки 3.8 и 3.9) и определить оценочные показатели, необходимые для решения диссертационной задачи – такие как усилия на органе управления, тормозную силу, давление в тормозных контурах и тормозных камерах, нагрузку в процессе торможения и все это выполнить для каждого колеса измеряемой оси САП, т. е. в одном торможении фиксировать изменение динамики параметров рабочих процессов пневмопривода каждого отдельного колеса САП во времени. При проведении диагностирования на таких видах стендов обеспечена безопасность.

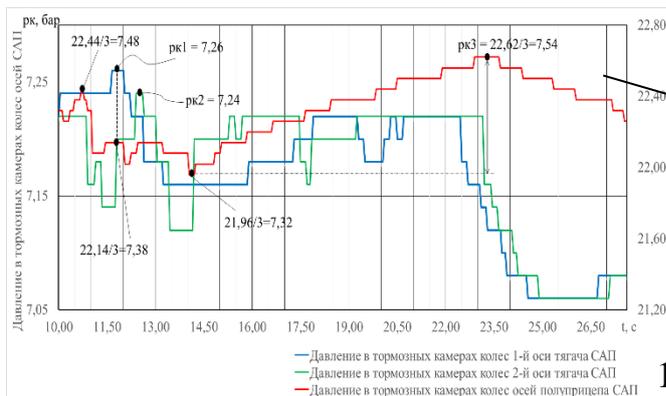


Рисунок 3.8 – Оциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес от времени при торможении исправной РТС САП

Рисунок 3.9 – Пневматический радиодатчик давления

где: 1 – тормозная камера колеса САП с пневматическим радиодатчиком давления.

По рисунку 3.8 можно установить очередность срабатывания осей САП при торможении: первыми срабатывают оси полуприцепа и затем оси тягача симметрично по бортам, что исключает его складывание и способствует повышению устойчивости. Величина значений давления в тормозных камерах

колес САП и последовательность срабатывания тормозных механизмов колес осей свидетельствуют об исправном функционировании пневмопривода РТС САП.

### **3.4 Разработка методики решения задач предупреждения причин складывания САП и обоснования допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП**

Зная возможные неисправности пневмоприводов тормозных систем САП и факторы утечек воздуха из пневмопривода РТС САП, а также возможности обнаружения неисправностей, можно рассчитать параметры рабочих процессов функциональных элементов пневмопривода РТС САП и допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.

Параметры рабочих процессов РТС САП, которые на сегодняшний день контролируются могут быть в диапазоне неисправной работы.

Для расчета давления сжатого воздуха при утечках необходимо определить эффективную площадь сечения утечек, которая может быть рассчитана:

$$f_y dt = \frac{V_1 dp_i}{k\gamma \left(\frac{p_a}{p_i}\right) K\sqrt{RT_1} p_i} \quad (59),$$

где:  $l_k$  – длина тормозного контура пневмопривода РТС САП, м;  $\Delta t_i$  – величина шага интегрирования;  $p_a$  – атмосферное давление, МПа,  $d$  – диаметр проходного отверстия трубопровода, м;  $T_1$  – температура воздуха в тормозной камере, К;

при:  $V = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot l_k$  и  $l_k = \frac{4V}{\pi d_1^2}$ .

С учетом уравнения 59 перепад давления в рабочей полости тормозной камеры колеса при внешних утечках предлагается определять:

$$\dot{p}_i = \frac{k}{x_0 + x_1} \left( \frac{f_{вх} K \sqrt{RT_k}}{F} \left[ p_k \gamma \left( \frac{p_i}{p_k} \right) - p_{i-1} \frac{f_y}{f_{вх}} \sqrt{\frac{T_1}{T_k}} \gamma \left( \frac{p_a}{p_i} \right) \right] - p_{i-1} \cdot \dot{x}_{i-1} \right) \cdot \Delta t_i \quad (60),$$

где:  $x_0$  – исходное положение штока диафрагмы тормозной камеры  $i$  – го колеса САП.

Проинтегрировав уравнение (59) по времени предлагается определять время

наполнения рабочей полости тормозной камеры колеса при внешних утечках:

$$t = \frac{V}{k f_{\text{вх}} K \sqrt{RT_1}} \int_{\sigma_i'}^{\sigma_i''} \frac{d\sigma}{p_k \gamma(\sigma) - \sigma \frac{f_y}{f_{\text{вх}}} \sqrt{\frac{T_1}{T_k}} \gamma\left(\frac{p_a}{p_i}\right)} \quad (61),$$

где:  $\sigma_a$  – безразмерное атмосферное давление;  $p_1', p_1''$  – начальное и конечное значения давления в рабочей полости тормозной камеры  $i$  – го колеса САП при торможении, МПа;  $\sigma_1', \sigma_1''$  – отношения начального и конечного значения давления.

при:  $p_i = \frac{p_i' + p_i''}{2}$ ,  $\sigma = \frac{p}{p_k}$ ,  $\sigma_i' = \frac{p_i'}{p_k}$ ,  $\sigma_i'' = \frac{p_i''}{p_k}$ ,  $\sigma_a = \frac{p_a}{p_k}$ .

Предлагаемая методика расчета параметров рабочих процессов пневмопривода позволяет выполнить оценку внутренних параметров рабочих процессов РТС САП: утечки сжатого воздуха в пневмоприводе, перепад давлений в элементах пневмопривода РТС САП, влияние длины тормозных контуров, время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем САП при внешних утечках, что является первопричинами, вызывающими бортовую несимметрию действия тормозных сил на колесах САП и как следствия ДТП в результате их складывания. Расчет и оценка труднодоступных параметров рабочих процессов функционирования пневмоприводов РТС САП и обоснование механизма формирования тормозных сил по бортам САП позволит предупредить причины возникновения ДТП, связанные с неисправным техническим состоянием РТС САП.

Таким образом, зная «опасные» факторы, с учетом текущего технического состояния РТС тягача и полуприцепа, появляется инструмент предотвращения причин, вызывающих складывание САП.

### **3.5 Разработка методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки свойств**

С целью измерения параметров рабочих процессов функционирования и оценки технического состояния пневмопривода РТС САП в составе тягача Scania

R 114 LA 4x2 LA 340 SLA и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 на основании проведенного эксперимента разработана методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки свойств:

1. Чистый тягач и полуприцеп, с чистыми и сухими шинами допускается к въезду на линию технического контроля.

2. Перед проведением измерений необходимо проверить соответствие шин требованиям ГОСТ 33997–2016:

2.1 Проверить давление в каждой шине и довести до значения, указанного в инструкции по эксплуатации автопоезда;

2.2 Проверить чтобы на первой измеряемой оси были шины с одинаковым рисунком протекторов;

2.3 Проверить чтобы глубина рисунка протектора соответствовала требованиям ГОСТ 33997–2016 для данного типа ТС;

3. Проверить по манометру (рисунок 3.11) РТС значение давления в пневмоприводе тормозной системы при работающем двигателе;

3.1 Довести давление в пневмоприводе РТС до значения, начала диапазона параметра рабочего процесса, соответствующего исправному техническому состоянию РТС ТС;

4. Испытания на силовом роликовом тормозном стенде каждой оси автопоезда:

4.1 Установить радиодатчики давления (RCD 20-2) для пневматических систем на контрольные выходы пневмопривода контуров РТС, обеспечивающих давлением конкретную проверяемую ось, а также датчик Pm на контрольный вывод питающей магистрали пневмопривода (рисунок 3.12), а радиодатчики Pх1 на контрольный вывод правого колеса, Pх2 на контрольный вывод левого колеса, [75] (рисунок 3.13).

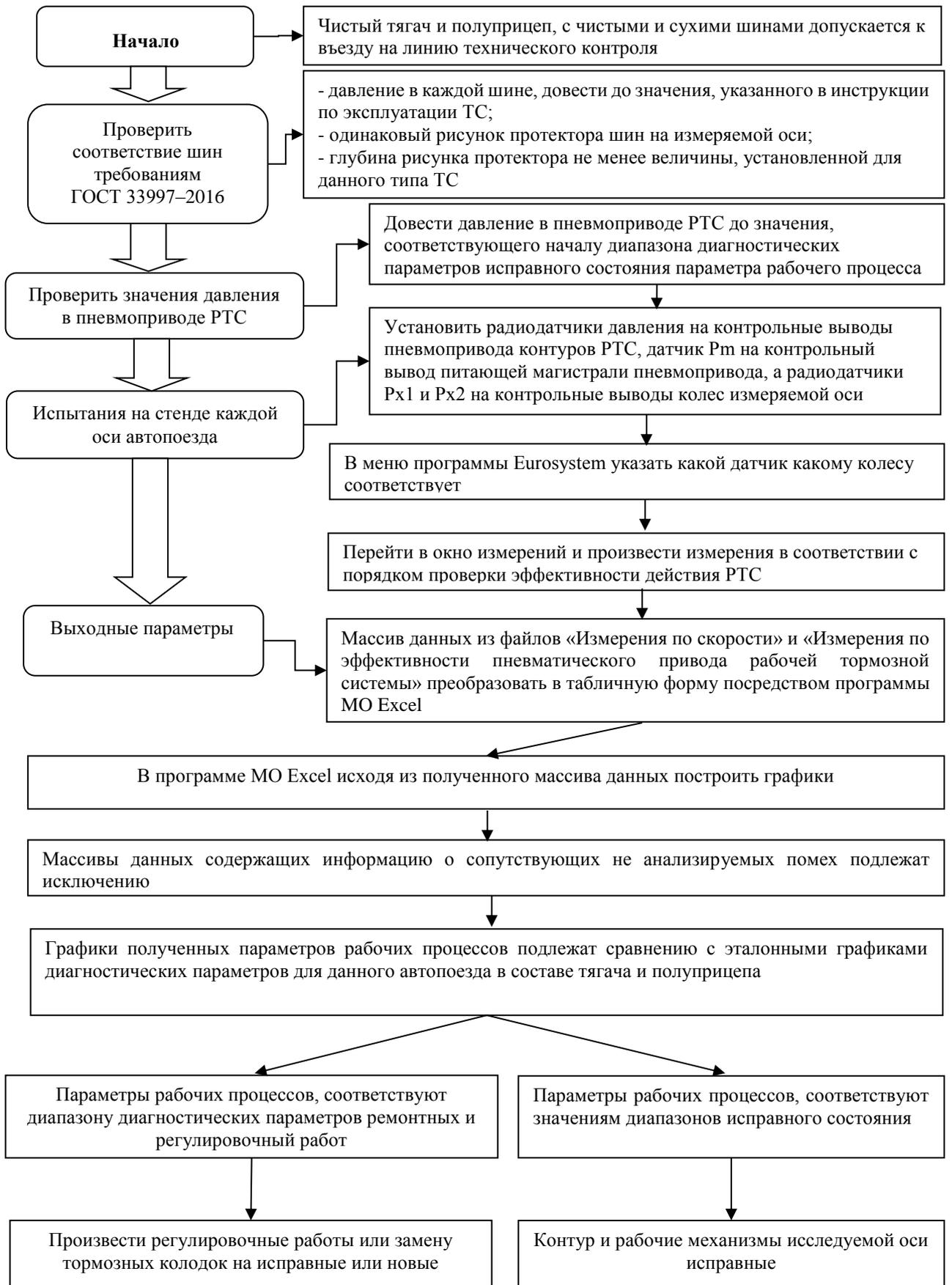


Рисунок 3.10 – Алгоритм технического диагностирования РТС САП на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem



Рисунок 3.11 – Приборная панель тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA



Рисунок 3.12 – Установка датчика давления Pt на выход из компрессора тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA



Рисунок 3.13 – Пневматический радиодатчик давления Rx2

4.2 В меню программы Eurosystem указать к какому датчику соответствует какое колесо диагностируемой оси;

Примечание: в окне давления фиксируемое датчиками до проведения измерений должны фиксироваться значения давлений, соответствующих параметрам рабочих процессов, в соответствии с порядком работы пневмопривода тормозной системы;

4.3 Перейти в окно измерений и произвести измерения в соответствии с порядком проверки эффективности действия РТС САП;

4.4 Массив данных из файлов «Измерения по скорости» и «Измерения по эффективности пневмопривода РТС» преобразовать в табличную форму посредством программы МО Excel;

4.5 В программе МО Excel из полученного массива данных построить графики;

4.6 Части массивов данных, содержащих информацию о сопутствующих не анализируемых помехах, подлежат исключению;

Примечание: помехи, не подлежащие анализу, изображены на графике в виде высокочастотной модуляции с высокой амплитудой.

4.7 Графики полученных параметров рабочих процессов подлежат сравнению с эталонными графиками диагностических параметров (рисунки 3.3–3.6) для САП в составе тягача и полуприцепа;

4.8 Если параметры рабочих процессов, зафиксированные в контрольных точках, соответствуют значениям диапазонов нормального функционирования, следует считать контур и рабочие механизмы исследуемой оси исправными;

- Если параметры рабочих процессов, соответствуют диапазону диагностических параметров, соответствующих техническому состоянию, при котором тормозные механизмы подлежат регулировке (на графиках изображены желтым цветом), то необходимо произвести регулировочные работы (в некоторых случаях, при невозможности регулировок – замену тормозных колодок на исправные или новые);

- Если параметры рабочих процессов, соответствуют диапазону диагностических параметров, указывающих на необходимость проведения ремонтных работ, то использование САП по назначению необходимо немедленно прекратить и выполнить ремонт.

Данные эксперимента о параметрах рабочих процессов эффективности действия РТС с пневмоприводом САП, необходимо обрабатывать в соответствии с алгоритмом технического диагностирования РТС САП на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem и представленным ниже порядком.

#### **Порядок оценки результатов диагностирования технического состояния тормозных систем ТС**

Проведение стендовых испытаний необходимо проводить ежегодно, а также по результатам выполнения каждого технического осмотра автопоезда с периодичностью 15 тыс. км пробега. Данные проведения диагностирования на тормозном роликовом стенде должны храниться в базе данных, а рекомендации по результатам диагностирования и протоколы диагностирования ТС должны

храниться в инженерно-технических службах автохозяйств.

Рекомендации о необходимости регулировочных работ или ремонта тормозного привода и (или) тормозных механизмов требуют неукоснительного и немедленного технического воздействия на автопоезд для обеспечения БДД.

Далее необходимо рассмотреть два случая:

1. ТС работоспособно и может быть продиагностировано на силовом роликовом стенде по предложенному алгоритму технического диагностирования РТС САП на роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem (рисунок 3.10);

2. ТС неисправно, не работоспособно, в результате повреждений, полученных при ДТП и эксперт выполняет анализ, используя сведения из базы данных о предшествующем диагностировании и анализе технических документов о выполненных технических воздействиях (регулировочных, ремонте, замене запасных частей) тормозной системы, составных частей автопоезда. Если рекомендации не выполнялись, то берутся результаты предыдущего диагностирования, с учетом прогноза регрессии технического состояния тормозной системы.

В случае 1, предлагается производить оценку результатов диагностирования ТС по разработанным диапазоном состояний РТС, представленных ниже [139].

Границы диапазонов диагностических параметров необходимо устанавливать в соответствии с технической документацией на конкретную модель ТС. По сводным графикам рабочих процессов, которые для различного технического состояния пневмопривода РТС ТС в режиме реального времени характеризуют их соответствие диагностическим параметрам конкретного диапазона на проверяемом участке, были разработаны диапазоны различных состояний РТС:

1. Рабочий диапазон (зеленая зона) – номинальный, рабочий диапазон, характеризующийся исправной тормозной системой. Производить какие-либо работы не требуется, тормозная система в исправном состоянии и соответствует всем требованиям нормативно-технической документации. Диапазон давления

должен находиться в интервале от 0,60 до 0,81 МПа. (для большинства автомобилей с пневматическим приводом тормозной системы);

2. Диапазон ремонтных и регулировочных работ (желтая зона) – регулировочная, допустимая для движения в диапазоне давления 0,42–0,55 указывает водителю, что работоспособна запасная тормозная система, обеспечивающая 50% эффективности работы РТС, диапазон диагностических параметров 0,55–0,60 характеризует соответствие значений параметров технического состояния, при которых необходимы проведение ремонтных и регулировочных работ;

3. Диапазон отказов (красная зона) – необходим ремонт, эксплуатация ТС недопустима, тормозная система неработоспособна, т.е. находится в состоянии, при котором хотя бы один параметр, характеризующий способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической документации – неисправное состояние РТС. Диапазоны давления от 0 до 0,42 и от 0,81 до 1,25 МПа.

Данная методика позволяет:

- дать общую характеристику технического состояния пневмопривода РТС;
- локализовать участок, на котором система не герметична;
- дать рекомендацию о необходимости проведения технического воздействия системы – регулировки или ремонта конкретного участка магистрали или тормозного механизма.

Манометр давления воздуха в РТС ТС расположен между компрессором и тормозным краном. Является средством контроля технического состояния РТС для водителя.

Предлагаемая методика (рисунок 3.14), позволяет с высокой степенью достоверности локализовать неисправность пневмоприводов тормозных систем и характеризовать степень развития дефектов пневмопривода тормозной системы конкретного ТС.

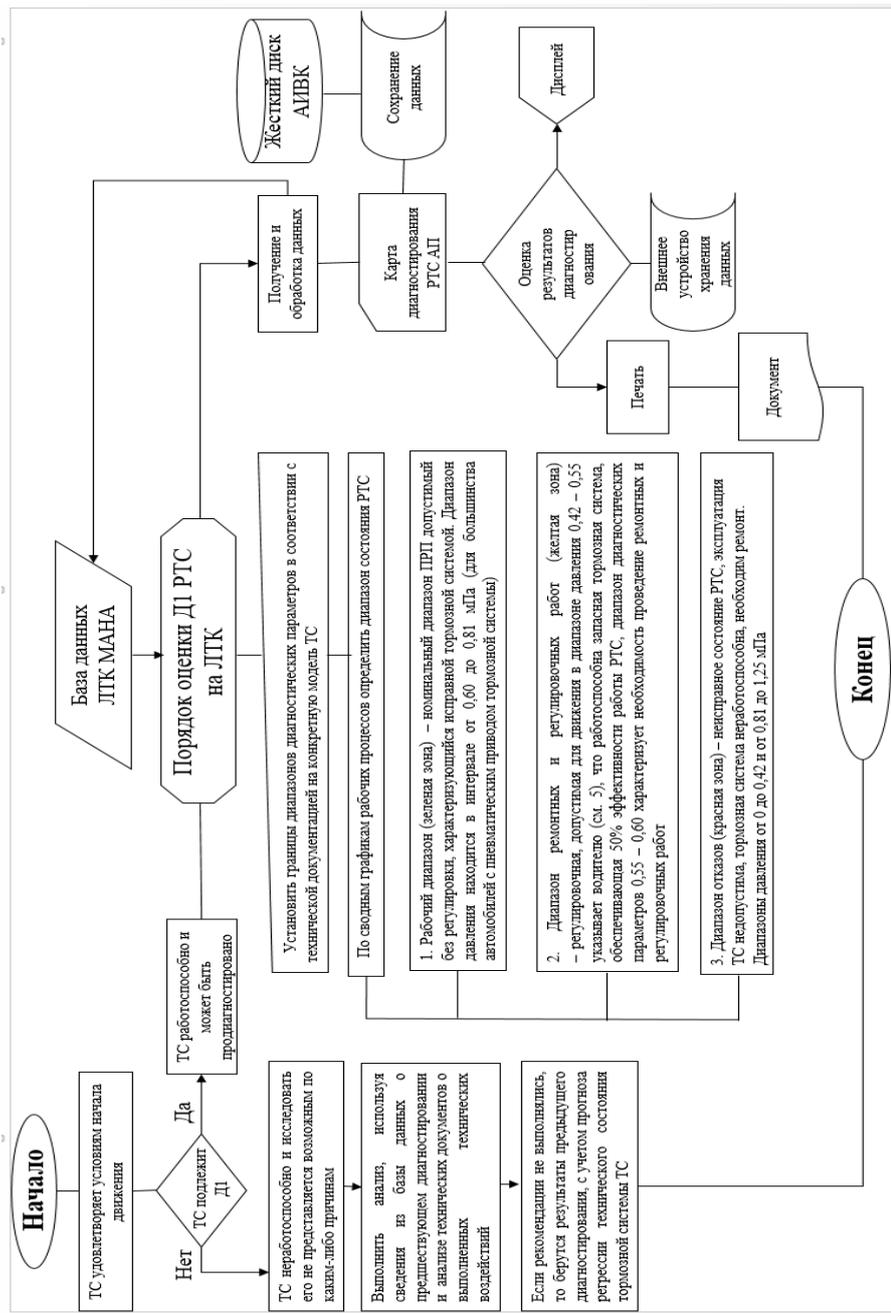


Рисунок 3.14 – Структурная схема методики диагностирования технического состояния тормозных систем ТС

### 3.6 Выводы и результаты экспериментальных исследований

Выполненные экспериментальные исследования подтвердили результаты теоретических исследований о влиянии «опасных» факторов, на механизм формирования несимметрии тормозных сил по бортам и складывание САП, как причины возникновения ДТП. «Опасными» факторами, установленными в научном исследовании, являются параметры рабочих процессов функционирования

пневмопривода РТС САП, вышедшие за допустимые по БДД технического состояния границы.

Для выполнения стендовых испытаний был использован тормозной роликовый стенд IW 7 Eurosystem. Данный тормозной роликовый стенд позволяет с большей дискретностью сигналов об измеряемых параметрах, а также опцией – комплектом датчиков давления с передачей значения давления воздуха на участках пневмопривода РТС по радиоканалам, диагностам оценивать изменяющееся во времени давление в каждом участке контуров РТС и функцию действия тормозных сил каждого колеса САП по времени. С помощью тройника была произведена имитация утечек сжатого воздуха в элементах пневмопривода РТС САП. По результатам проведенного эксперимента обработан массив данных и получены - значения тормозной силы, усилия на педаль, давления в тормозном контуре  $P_m$  и в тормозных камерах  $P_x$  и нагрузки для каждого колеса САП соответствующие различным по БДД техническим состояниям пневмоприводов РТС 22 САП. Данные показатели позволили определить причины, которые влияют на параметры процессов затормаживания каждого отдельно взятого колеса, такие как: время нарастания давления сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвига по времени этих максимумов для разных колес, утечки сжатого воздуха в пневмоприводе, перепад давлений в элементах пневмопривода РТС САП, влияние длины тормозных контуров, время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем САП при внешних утечках.

Таким образом, экспериментально обоснован механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП. Результаты экспериментальных исследований подтверждают, что структура средств технического обеспечения позволяет выполнить обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны:

- методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП;

- методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки его свойств.

## ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам стендовых испытаний были определены «опасные» факторы, способные вызвать несимметрию тормозных сил по бортам САП.

Для примера выполнения оценки допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП и обнаружения данных факторов на практики разработанные методики могут быть использованы по представленным в разделах 4.1 и 4.2 случаям.

Результаты научно-исследовательской работы в виде разработанных:

1. Методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП;

2. Методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки его свойств, используются:

- в учебном процессе СПбГАСУ при подготовке студентов по направлениям 23.03.01, 23.04.01 Технология транспортных процессов, профиль подготовки «Организация и безопасность движения», а также 23.03.03, 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, профиль подготовки «Эксплуатация автотранспортных средств, дорожных и строительных машин»;

- в Центре повышения квалификации автомобильно-дорожного факультета СПбГАСУ при профессиональной переподготовке и повышении квалификации специалистов по программе «Судебная инженерно-техническая экспертиза», «Эксперт-техник по независимой технической экспертизе транспортных средств» (по специализации – Судебная автотехническая экспертиза), а также в практической деятельности ИБДД;

- ООО «Центр контроля технического состояния транспортных средств» для обеспечения высокого уровня контроля и расширения возможностей в оценки технического состояния РТС транспортных средств;

- экспертами ЛТК МАНА в Центре «АвтоЭксперт» при определении технического состояния тормозных систем САП и рекомендована для внедрения в систему технического контроля.

#### **4.1 Применение методики предупреждения причин складывания САП с локализацией неисправности пневмоприводов РТС**

Исследованию подвергались 22 САП в составе тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 G. При проведении технического диагностирования РТС 19-и испытуемых САП диагностические параметры соответствовали нормативным показателям в соответствии с требованиями ГОСТ 33997–2016, а также предлагаемой в данной работе методики. То есть полученные графики изменения параметров функции давления в контуре, тормозных камерах, усилия на орган управления и тормозные силы колес измеряемых осей по времени соответствовали диапазонам исправного технического состояния аппаратов и подсистем РТС САП.

##### **4.1.1 Локализация зоны максимально допустимого диагностического параметра и регулировка РТС САП**

На автомобиле тягаче Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA VIN № 9BSR4X20003588487 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 VIN № WSK00000001218236 значения давления  $P_m$  при  $n_{кв}=5300$  об/мин составляет 0,81 МПа (рисунок 12 приложения 1). Этот параметр является предельно допустимым, однако, при увеличении частоты вращения коленчатого вала до максимального значения, например, при движении в тяжелых дорожных условиях на низкой передаче или при совершении обгона на высокой передаче, значение  $P_m$  будет хотя бы кратковременно превышать  $P_m$  max допустимое равное 0,81 МПа и это будет являться предпосылкой к возникновению неисправности, выражающейся в разгерметизации трубопроводов системы. Таким образом,

определена необходимость регулирования верхнего предела срабатывания клапана регулирования давления (регулятора давления воздуха) РТС, рисунки 4.1 и 4.2, [117]. В данном случае рекомендацией по приведению РТС САП в исправное состояние будет проведение ТО и регулировка.

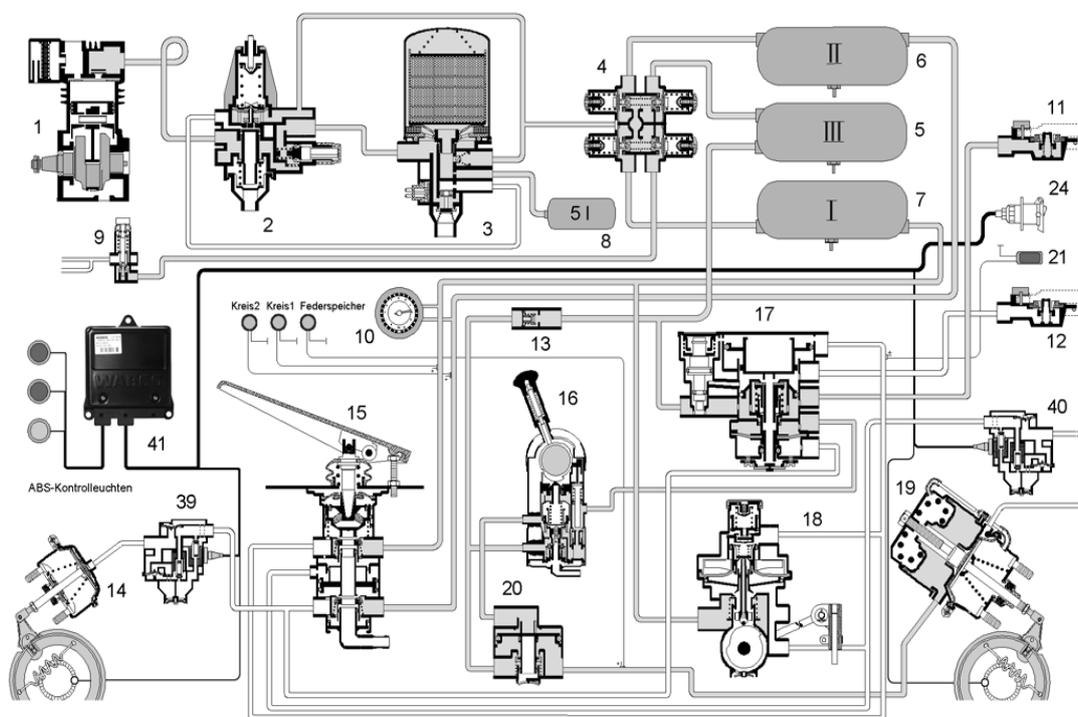


Рисунок 4.1 – Пневматическая тормозная система тягача

где: 1 – компрессор; 2 – регулятор давления; 3 – осушитель воздуха; 4 – четырехконтурный защитный клапан; 5-7 – ресиверы контуров пневмопривода; 8 – регенерационный ресивер; 9 – дополнительные потребители воздуха; 10 – манометр; 11, 22 – контрольные и аварийные сигнализаторы; 12 – соединительная головка управляющей магистрали; 13 – обратный клапан; 14 – тормозная камера переднего колеса; 15 – ножной тормозной кран; 16 – ручной тормозной кран; 17 – тормозной кран управления тормозной системой прицепа; 18 – регулятор тормозных сил задней оси; 19 – тормозная камера с энергоаккумулятором; 20 – ускорительный клапан; 24 – соединительная вилка ABS; 39 – магнитный клапан ABS переднего колеса; 40 – модулятор ABS заднего колеса; 41 – электронный блок управления ABS тягача.

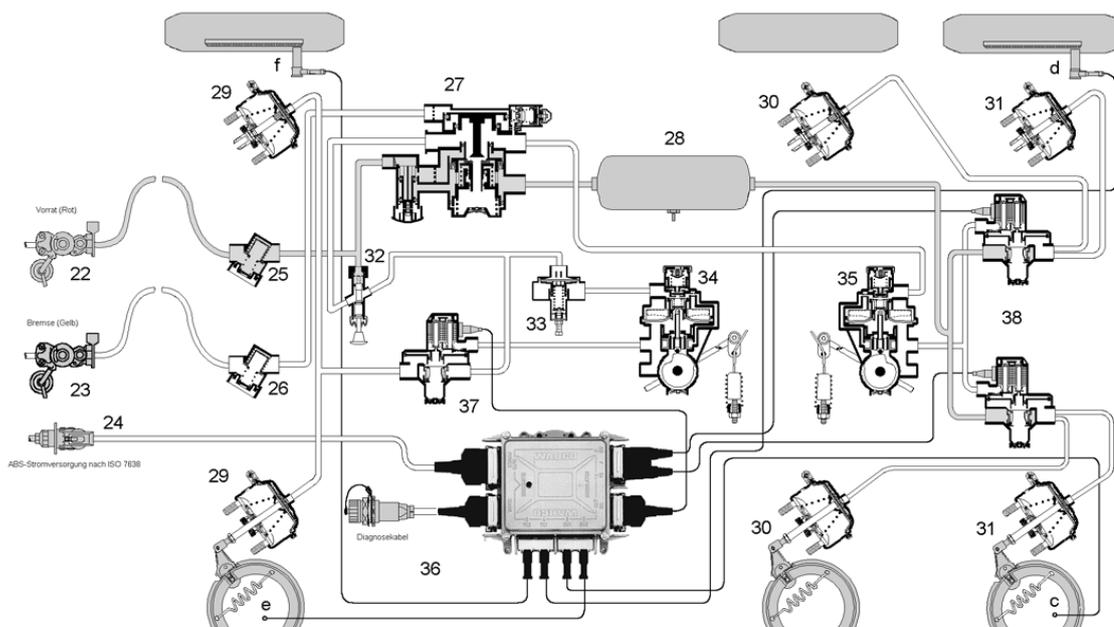


Рисунок 4.2 – Пневматическая тормозная система

где: 11, 22 – питающие соединительные головки магистрали снабжения сжатым воздухом; 12, 23 – соединительные головки управляющей магистрали; 24 – соединительная вилка ABS; 25, 26 – фильтры воздуха; 27 – тормозной кран прицепа; 28 – ресивер; 32 – кран растормаживания прицепа; 33 – клапан соотношения давлений; 34 – регулятор тормозных сил передней оси; 37 – модулятор ABS передней оси; 29 – тормозные камеры передней оси; 35 – регулятор тормозных сил задней оси; 38 – модуляторы ABS средней и задней оси; 30 – тормозные камеры средней оси; 31 – тормозные камеры задней оси; 36 – электронный блок управления ABS прицепа; f – датчики ABS передних колес; d – датчики ABS задних колес.

Проведенным исследованием установлено, что при значениях  $p$  в тормозных камерах одной оси по величине близких к минимально допустимым, но не значительно отличающихся друг от друга, время достижения максимального значения давления различно, что приводит к появлению момента увода ТС или складыванию САП.

Поэтому определен диапазон допустимых значений диагностического параметра по давлению для нижней границы значений давления и исследована

допустимая разность давлений  $\Delta p_i$  в тормозных камерах исследуемой оси в границах допустимого диапазона значений.

#### **4.1.2 Определение низкой эффективности работы колесного тормозного механизма. Локализация неисправности регулировке РТС**

На автомобиле тягаче Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA VIN № 9BSR4X20003588492 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 VIN № WSK00000001218228 при исследовании диагностического параметра второй оси определено, что значения давления в тормозной камере  $P_{x1} = 0,732$  МПа – соответствуют норме, а значения  $P_{x2} = 0,528$  МПа, т. е. на 0,072 МПа ниже нормы (рисунок 15 приложения 1). Снижение давления на участке управления тормозным механизмом левого колеса передней оси тягача привело к разности значений давления в 28 %. В соответствии с п 4.1.4 ГОСТ 33997–2016 допустима разность тормозных сил колес осей с барабанными колесными тормозными механизмами не более 25%. Таким образом, на участке тормозного привода задней оси тягача диагностические параметры соответствуют требованиям ГОСТ 33997–2016. В данном случае рекомендацией по приведению тормозной системы в исправное состояние будет проверка герметичности участка трубопровода от правого колеса задней оси тягача к защитному клапану. При использовании течеискателя была обнаружена утечка воздуха через трещину резинового шланга трубопровода привода РТС. В данном случае рекомендацией будет замена участка пневмопривода РТС и проведение повторного диагностирования.

#### **4.1.3 Оценка влияния времени срабатывания тормозных механизмов полуприцепа на безопасность движения ТС**

В ходе стендовых испытаний по контролю РТС тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA VIN № 9BSR4X20003588813 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 G VIN № WSK00000001218229 установлено, что по диагностическому давлению

в тормозных камерах колес полуприцеп соответствует нормативным значениям, однако в результате сравнения значений времени срабатывания тормозных механизмов полуприцепа установлено, что время начала срабатывания тормозных механизмов полуприцеп больше, чем время начала срабатывания тормозных механизмов задней оси тягача и практически равно времени срабатывания колесных тормозных механизмов передней оси тягача. В таком случае при движении САП в повороте при начале торможения это может привести к складыванию САП, а в случае прямолинейного движения (прямолинейным считается движение с поворотом управляемых колес на величину в пределах не более  $\pm 5^\circ$  относительно продольной оси ТС от прямолинейного направления движения). В случае выбора водителем люфта поворота управляемых колес вправо или влево на величину превышающую допустимый люфт в результате начала процесса торможения может также привести к складыванию САП с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения и движения ТС на выходе из безопасного коридора движения в описанном выше случае не обеспечивается, приоритет заблаговременного торможения полуприцепа для придания устойчивости всему ТС.

Блок управления ABS полуприцепа, получивший сигнал управления от блока ABS тягача, в исправном состоянии должен был обеспечить указанный выше приоритет срабатывания РТС полуприцепа. Если по результатам диагностирования электронных блоков управления диагностических кодов ошибок не определено, а диагностические параметры стендовых испытаний указывают на равное значение времени срабатывания тормозных механизмов полуприцепа и передней оси тягача, или значений времени срабатывания тормозных механизмов второй оси тягача и первой оси тягача, то необходимо произвести регулировку тормозных механизмов полуприцепа или замену тормозных колодок барабанных колесных тормозов.

В результате выполнены частичные регулировки, величину значения времени срабатывания тормозных механизмов полуприцепа удалось снизить. Если бы в результате регулировки этого не произошло, то рабочие тормозные

механизмы потребовали бы замены колодок или даже расточки тормозных барабанов с заменых колодок.

#### 4.2 Применение методики решения задач предупреждения причин складывания САП и обоснования допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП

Ниже представлены расчеты, предложенных параметров рабочих процессов пневмопривода РТС САП: утечек сжатого воздуха в пневмоприводе, перепада давлений, время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем САП при внешних утечках с учетом текущего технического состояния ТС, в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты рассчитанных значений параметров рабочих процессов функционирования пневмопривода РТС САП

Значения параметров рабочих процессов пневмопривода САП			
	Оси САП	Колеса левого борта САП	Колеса правого борта САП
$f_y$	Первая ось тягача	$2,20 \cdot 10^{-7}$	$1,70 \cdot 10^{-7}$
	Вторая ось тягача	$2,30 \cdot 10^{-6}$	$5,30 \cdot 10^{-6}$
	Ось полуприцепа САП	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$2,40 \cdot 10^{-6}$
$\Delta p_i$	Первая ось тягача	0,885	0,899
	Вторая ось тягача	0,81	0,89
	Ось полуприцепа САП	0,18	0,82
$t$	Первая ось тягача	$5,60 \cdot 10^{-3}$	$6,90 \cdot 10^{-3}$
	Вторая ось тягача	$5,02 \cdot 10^{-4}$	$2,70 \cdot 10^{-6}$
	Ось полуприцепа САП	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$9,00 \cdot 10^{-4}$

Данные результаты позволяют определить исправность пневмопривода РТС САП для каждой оси:

- тормозные камеры на колесах первой оси тягача имеют незначительную  $f_y$  на левой и правой тормозных камерах  $2,20 \cdot 10^{-7}$  и  $1,70 \cdot 10^{-7}$ , однако перепад давлений  $\Delta p_i$  на диафрагме избыточен по причине избыточного давления в тормозном контуре  $p_{л} = 0,842$ ,  $p_{пр} = 0,844$  (регулятор давления засорен), давление в тормозных камерах находится в диапазоне исправного технического состояния, т.к. срабатывает регулятор тормозных сил и стравливает излишнее давление, время

наполнения рабочей полости тормозной камеры обеспечивает эффективное торможение, для предотвращения развития существующих неисправностей и возникновения новых необходим ремонт регулятора давления и проверка герметичности тормозной камеры колеса, эксплуатация ТС недопустима;

- вторая ось тягача –  $f_y$  существенна и снижает давление в рабочих полостях тормозных камер, для обеспечения эффективного торможения компрессор осуществляет подкачку сжатого воздуха в пневмопривод второй оси, в результате чего  $\Delta p_i$  на диафрагме тормозной камеры правого колеса выше предельно допустимого давления (для тормозной камеры левого колеса значение давления находится на границе допустимого и избыточного), однако ввиду очень маленького периода времени  $t_i$  наполнение рабочих полостей тормозных камер колес, ввиду значительной  $f_y$  на левой и правой тормозных камерах  $2,30 \cdot 10^{-6}$  и  $5,30 \cdot 10^{-6}$  давление в тормозных камерах почти равно атмосферному  $p_{л} = 0,103$ ,  $p_{пр} = 0,110$  и не обеспечивает торможение этой оси, т.е. тормозные камеры колес второй оси находится в диапазоне отказов, необходим ремонт, эксплуатация ТС недопустима;

- оси полуприцепа САП: тормозная камера колеса левого борта имеет нормативное значение давления,  $f_y$  незначительная о чем свидетельствует  $\Delta p_i$ , время наполнения рабочей полости тормозной камеры достаточное и тормозной привод обеспечивает эффективное торможение колеса, техническое состояние находится в рабочем состоянии; тормозная камера колеса правого борта, ввиду значительной  $f_y$  имеет низкое значение давления в рабочей полости, для обеспечения эффективного торможения компрессор осуществляет подкачку сжатого воздуха в пневмопривод рассматриваемого колеса, в результате чего  $\Delta p_i$  избыточен, т.е. техническое состояние тормозной камеры правого колеса полуприцепа находится в диапазоне отказов, необходим ремонт, эксплуатация САП недопустима.

Учитывая вышеизложенное, использование на практике разработанной методики позволяет предупредить причины складывания САП обеспечением контроля предельно допустимой разницы тормозных сил на всех мостах САП

со сдвигом во времени действия их максимумов по бортам, и значит, может снизить смертность в дорожном движении как того требует ст. 2 196-ФЗ «О БДД».

### **4.3 Экспериментальные исследования адекватности модели и методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки его свойств**

Методика опробована при диагностировании 22 однотипных САП в составе тягачей Scania R 114 LA 4x2 и полуприцепов Cargobull Schmitz SPR 24 на тормозном роликовом стенде IW 7 Eurosystem. В ходе диагностирования один САП направлен для проведения ремонта РТС, у одного САП определен зарождающийся дефект, выраженный в незначительной утечке воздуха в тормозном контуре, дефект локализован и устранен на месте диагностирования, два САП подвергнуты регулировке аппаратов пневмопривода РТС.

### **4.4 Расчет экономической эффективности от применения разработанных методик**

Расчет экономической эффективности произведен на основе Методики оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий, [63].

Экономический эффект от внедрения разработанных методик в действующую практику проведения технического осмотра САП является предупреждения причин возникновения ДТП, в результате которых происходит гибель и ранения людей, причинения материального ущерба.

Например, у автопредприятия материально-техническая база: 100 седельных тягачей и 100 полуприцепов, в течении 2017 года 10 САП попали в ДТП с повреждением ТС и грузов, годовой ущерб от которых составит 7 243 007,5 руб., при наличии погибших людей в ДТП величина ущерба составит в среднем для РФ по состоянию на 2018 год, согласно выполненным расчетам [98] Финансового

университета при Правительстве РФ, если погибший имел семью с учетом морального ущерба – 46 900 000 руб., без семьи – 34 480 000 руб. соответственно.

#### **4.5 Выводы по главе 4**

В результате апробации разработанных методик сделаны следующие выводы:

1. Результаты научно-исследовательской работы используются в учебном процессе СПбГАСУ, в сфере технического обслуживания и экспертизы ДТП.
2. Представлены примеры использования разработанных методик.

Предложенное применение разработанной методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов РТС САП и обработки экспериментальной оценки его свойств позволяет реализовать устранение несимметрии действия тормозных сил по бортам с учетом реального технического состояния РТС, показывает ее высокую эффективность при контроле качества регулировки тормозных механизмов при ТО, обнаружении зарождающихся дефектов в пневмоприводах РТС САП. Так, применение данной методики показало на необходимость проведения у двух САП регулировочных работ, а один направлен в ремонт – определен зарождающийся дефект: утечка сжатого воздуха.

Представленный расчет параметров рабочих процессов функционирования пневмопривода РТС САП, выполненный по разработанной методике решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП, подтверждает ее практическую значимость, полученными результатами в разделе 4.2: обеспечением контроля предельно допустимой разницы тормозных сил на всех мостах САП со сдвигом во времени действия их максимумов по бортам.

Выполненный расчет экономической эффективности от применения разработанных методик показал высокий результат.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенных исследований определена и обоснована расчетная модель исследования процесса экстренного торможения САП;

2. Установлены факторы, вызывающие несимметрию тормозных сил по бортам САП, влияющую на механизм их складывания при торможении и причины возникновения ДТП – это параметры рабочих процессов функциональных элементов пневмопривода РТС САП, такие как: время нарастания давления сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвига по времени этих максимумов для разных колес, утечки сжатого воздуха в пневмоприводе, перепад давлений в элементах пневмопривода РТС САП, влияние длины тормозных контуров, время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода РТС САП при утечках рабочего тела.

3. Обоснован механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП с помощью экспериментальных исследований параметров процесса складывания САП. Так, разница максимумов  $P_T$  по колесам осей САП составила от 12 до 17 %, сопоставление графиков (осциллограмм) давлений в тормозных камерах и тормозных сил колес САП подтверждает, что факторы, вышедшие за допустимые по БДД границы, вызывают несимметрию действия тормозных механизмов по бортам, ввиду сдвигов по времени максимумов давлений в тормозных камерах колес бортов САП, которая может возникать параллельно или по диагонали бортов САП, что способно вызвать его складывание. Суммарное давление в тормозных камерах колес по бортам исследуемого САП отличалось на 37 %, тогда как суммарная тормозная сила отличалась на 7,67 %. Полученные при имитации утечек сжатого воздуха данные подтверждают необходимость контроля указанных параметров.

4. Экспериментальные исследования параметров процесса торможения РТС САП позволили выполнить оценку влияния несимметрии тормозных сил по бортам

САП на механизм складывания САП. Выполненная оценка показала, что «опасные» факторы возникновения ДТП, способны вызвать технические неисправности элементов пневмопривода САП при которых эксплуатации САП недопустима, а влияние несимметрии тормозных сил по бортам САП способно привести к складыванию САП, что доказывает на практике существующую зависимость между «опасными» факторами и причинами возникновения ДТП.

5. Для технического обеспечения исследуемой задачи выбран силовой роликовый тормозной стенд IW 7 Eurosystem, который позволил наблюдать изменение динамики параметров рабочих процессов пневмоприводов каждого колеса САП во времени. Высокая степень точности обеспечена пневматическими радиодатчиками давления, путем регистрации изменяющихся во времени параметров с наименьшим шагом дискретизации сигналов.

6. Разработана методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП, которая позволяет выполнять расчет параметров рабочих процессов пневмоприводов РТС САП, осуществлять контроль динамики изменения «опасных» факторов, и как следствие предупредить первопричины возникновения ДТП, связанные с неисправным техническим состоянием пневмоприводов РТС САП;

7. Разработана методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов РТС САП и обработки экспериментальной оценки его свойств, позволяющая с высокой степенью достоверности локализовать неисправность пневмоприводов систем и характеризовать степень развития дефектов пневмопривода тормозной системы конкретного транспортного средства, что в совокупности с решенными выше задачами позволит обеспечить предупреждение первопричин складывания САП.

Направления продолжения научной работы заключаются в решении следующих задач:

1. Исследование влияния разности значений тормозных сил по бортам САП на его складывание;

2. Исследование влияния утечек сжатого воздуха из пневмоприводов тормозных систем на допустимую по условиям БДД скорость движения САП;
3. Автоматизация процессов расчета значений параметров рабочих процессов пневмоприводов РТС САП при техническом диагностировании на ЛТК с различными пакетами программного обеспечения.
4. Обоснование предложений по изменениям нормативной документации в соответствии с предложенной методикой технического диагностирования пневмоприводов тормозных систем ТС.

## СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АТС – автотранспортное средство

БДД – безопасность дорожного движения

ГУ ОБДД МВД России – Главное управление по обеспечению безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

ИБДД – Институт безопасности дорожного движения

ИТС – инерционная тормозная система

ЛТК – Линия технического контроля

ММ – математическая модель

Р – ремонт

РТС – рабочая тормозная система

РФ – Российская Федерация

САП – седельный автопоезд

СПбГАСУ – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

СТД – средства технического диагностирования

ТО – техническое обслуживание

ТС – транспортное средство

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ**

1. Абрамов, А. М. Моделирование системы управления автопоезда / А. М. Абрамов // Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Технические науки. 2014. № 75. Т.1. С. 49-53.
2. Автомобиль. Основы конструкции: учеб. для вузов по специальности «Автомобили и автомобил. хоз-во» / Н. Н. Вишняков, В. К. Вахламов, А. Н. Нарбут, и др. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 302 с.
3. Автомобили: Специализированный подвижной, состав: учебное пособие для вузов / М. С. Высоцкий, А. И. Гришкевич, Л. Х. Гилелес [и др.]; под ред. М. С. Высоцкого, А. И. Гришкевича. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 240 с.
4. Автомобильные транспортные средства / Д. П. Великанов, В. И. Бернацкий, Б. Н. Нифонтов. И. П. Плеханов. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
5. Аксенов, П. В. Многоосные автомобили / П. В. Аксенов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.
6. Андреев, А. Ф. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Средства гидропневмоавтоматики / А. Ф. Андреев, П. П. Артемьев, П. Р. Бартош и др. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ БГПА – ИСН, 1998. – 224 с.
7. Антонов, Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д. А. Антонов – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
8. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобилей / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Иларионов – М.: Машиностроение, 1983. – 212 с.
9. Баженов, Ю. В. Основы теории надежности машин: учебное пособие / Ю.В. Баженов; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 160 с.
10. Бернацкий, В. В. Специализированный подвижной состав автомобильного транспорта: учебник для вузов / В. В. Бернацкий. – Тула: Тульский гос. унив., 2009. – 295 с.

11. Беленький, Ю. Б. Условия устойчивости движения седельного автопоезда при торможении / Ю. Б. Беленький, Н. Ф. Метлюк, Л. Л. Борисов, Автомобиле- и тракторостроение. – Минск, 1970. – С. 97–111.

12. Боровский, Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. – Л.: Лениздат, 1984. – 304 с.

13. Боровских, Ю. И. Устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учеб. / Ю. И. Боровских, Ю. В. Буралев, К. А. Морозов, В. М. Никифоров, А. И. Фешенко – М.: Высшая школа; Издательский центр «Академия», 1997. – 528 с.

14. Бойко, А. В. Совершенствование метода диагностики тормозных систем автомобилей в условиях эксплуатации на силовых стендах с беговыми барабанами: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Бойко Александр Владимирович. – Иркутск, 2008. – 217 с.

15. Бухарин, Н. А. Тормозные системы автомобилей: Теория, конструкция, расчет и испытание. / Н. А. Бухарин, проф. д-р техн. наук. – М.-Л.: Машгиз, 1950. – 292 с.

16. Бухарин, Н. А. Автомобили. Конструкция, нагрузочные режимы, рабочие процессы, прочность агрегатов автомобиля. учебное пособие для вузов / Н. А. Бухарин, В. С. Прозоров, М. М. Щукин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд.-ние, 1973. – 504 с.

17. Бухарин, Н. А. К вопросу о требованиях к тормозным свойствам автомобилей / Н. А. Бухарин // Автомобильная промышленность. – 1964. – № 7. – с. 11–14.

18. Василевский, В. И. Алгоритм бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда на основе измерения и анализа силовых факторов: автореф. дис на соиск. учен. степ. канд. техн. наук 05.05.03 / Василевский Валерий Иванович; Белорусско-Российский университет. – Могилёв, 2013. – 21 с.

19. Василевский, В. И. Алгоритм бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС / В. И. Василевский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 1 (38). – С. 5–10.

20. Василевский, В. И. Алгоритм бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС / В. И. Василевский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 1 (38). – С. 11–17.

21. Военные автомобили. Конструкция и расчет: учебник / В. Ф. Васильчиков, А. И. Веденеев, В. А. Горячев и др.; под ред. В. Ф. Васильчикова. – Рыбинск: ОАО «РДП», 1997. – 664 с.

22. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма / Всемирная организация здравоохранения; под ред. М. Педен, Р. Скарфилда, Д. Слита и др. – М.: Издательство «Весь мир», 2004 – 280 с.

23. Гидравлические и пневматические элементы и приводы: учебное пособие в 2 ч. / Ч. 1: Пневматические приводы / В. Ю. Клюкин, В. С. Харитонов, А. М. Абрамов. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет, 2016. – 98 с.

24. Гладов, Г. И. Оценочные показатели и расчет маневренности полуприцепного автопоезда: учеб. пособие / Г. И. Гладов, Л. В. Демидов. – М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2016. – 124 с.

25. Горелов, В. А. Прогнозирование характеристик криволинейного движения автомобиля с колёсной формулой 6х6 при различных законах управления поворотом колёс задней оси / В. А. Горелов, Г. О. Котиев // Известия вузов. Машиностроение (М.). – 2008. – № 1. – С. 44–55.

26. ГОСТ Р 52051–2003 Механические транспортные средства и прицепы. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

27. ГОСТ 25478–91 Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 32 с.

28. ГОСТ 27.002–2015 Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 29 с.

29. ГОСТ 4364–81 Приводы пневматических тормозных систем АТС. Технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.

30. ГОСТ 18322–2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2017. – 16 с.
31. ГОСТ 20911–89 Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2009. – 13 с.
32. ГОСТ 33997–2016 Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки. – М.: Стандартинформ, 2017. – 73 с.
33. Григоренко, Л. В. Динамика автотранспортных средств. Теория, расчет передающих систем и эксплуатационно-технических качеств: монография / Л. В. Григоренко, В. С. Колесников – Волгоград: Комитет по печати и информации, 1998. – 544 с.
34. Гуревич, Л. В. Тормозное управление автомобиля / Л. В. Гуревич, Р. А. Меламуд. – М.: Транспорт, 1978. – 152 с.
35. Гуревич, Л. В. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств: Устройство и эксплуатация / Л. В. Гуревич, Р. А. Меламуд. – М.: Транспорт, 1988. – 224 с.
36. Динамика колеса и устойчивость движения автомобиля / У. А. Абдулгасис, А. У. Абдулгасис, Д. М. Клец, М. А. Подригало; под ред. У. А. Абдулгасиса. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2010. – 208 с.
37. Доклад о состоянии безопасности дорожного движения в мире. Всемирная организация здравоохранения. – М.: Издательство «Весь мир», 2013. – 282 с.
38. Доморозов, А. Н. Совершенствование методики измерения силовых параметров при диагностировании тормозных систем автомобилей на стендах с беговыми барабанами: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Доморозов Алексей Николаевич. – Оренбург, 2009. – 18 с.
39. Донской, А. С. Математическое моделирование процессов в пневматических приводах: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 121 с.

40. Дыгало, В. Г. Оценка адекватности при моделировании тормозной динамики автомобиля с АБС / В. Г. Дыгало, В. В. Котов, А. А. Ревин // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 12. – С. 16–18.

41. Дыгало, В. Г. Средства и методы формирования эксплуатационных свойств колесной машины в режиме торможения / В. Г. Дыгало, А. А. Ревин // Автомобильная промышленность. – 2018. – № 10. – 19–21 с.

42. Дыгало, В. Г. Применение электронных компонентов для диагностики тормозных систем автомобиля / Е. С. Ларин, Ю. М. Никитин // International Science Project (Финляндия). – 2017. – № 9. – С. 9–10.

43. Евтюков, С. А. Васильев, Я. В. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / под общ. ред. С. А. Евтюков. – СПб.: Издательство ДНК, 2004. – 288 с.

44. Евтюков, С. А., Васильев, Я. В. ДТП: Расследование, реконструкция и экспертиза / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – СПб.: Издательство ДНК, 2008. – 390 с.

45. Европейский доклад о состоянии безопасности дорожного движения «За безопасные дороги и более здоровые транспортные альтернативы». Всемирная организация здравоохранения, 2009. – 161 с.

46. Закин, Я. Х. Конструкция и расчет автомобильных поездов / Я. Х. Закин. – Л., Машиностроение, 1968. – 246 с.

47. Закин, Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда / Я. Х. Закин. – М.: Транспорт, 1967. – 255 с.

48. Закин, Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я. Х. Закин. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.

49. Закин, Я. Х. Автомобильные поезда / Я. Х. Закин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Автотрансиздат, 1955. – 109 с.

50. Закин, Я. Х. Автомобиле- и тракторостроение. Динамика движения автомобилей и тракторов / Я. Х. Закин. – Минск: Высшая школа, 1970. – 129 с.

51. Зимелев, Г. В. Теория автомобиля / Г. В. Зимелев. – М.: Машгиз, 1959. – 156 с.

52. Ибрагимов, И. А. Элементы и системы пневмоавтоматики: учеб. для вузов по спец. «Автоматизация и комплексная механизация хим.-технол. процессов» / И. А. Ибрагимов, Н. Г. Фарзана, Л. В. Илясов. – М.: Высшая школа, 1985. – 544 с.: ил. 30.

53. Иларионов, В. А. Эксплуатационные свойства автомобиля (теоретический анализ): учеб. для студентов специальности «Автомобил. трансп» / В. А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.: ил. – Библиогр.: с. 278.

54. Калявин, В. П. Надежность и диагностика автотранспортных средств: монография / В. П. Калявин, Н. А. Давыдов. – СПб.: Элмор, 2014. – 480 с.

55. Кнороз, В. И. Работа автомобильных шин / В. И. Кнороз. – М.: Автотрансиздат, 1957. – 239 с.

56. Коневцов, М. Д. Математические модели колес седельного автопоезда / М. Д. Коневцов // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 12. – С. 21–24.

57. Котов, В. В. Разработка диагностических признаков пневматической тормозной системы автомобиля с АБС: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Котов Владислав Владимирович. – Волгоград, 2007. – 17 с.

58. Курочкин, С. В. Совершенствование методики оценки влияния выходных характеристик пневмоаппаратов на эффективность торможения: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Курочкин Сергей Васильевич. – Владимир, 2012. – 17 с.

59. Литвинов, А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.

60. Литвинов, А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А. С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.

61. Литвинов, А. С. Исследование принципов разработки расчета траектории автомобиля при выполнении маневра «переставка» / А. С. Литвинов, В. А. Лёдов // Исследование рабочих процессов агрегатов автомобилей: труды Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Вып. 173 / Мин. высшего и сред. спец. обр. СССР. – М., 1979. – С. 121–128.

62. Малиновский, М. П. Экспериментальное исследование характеристик систем управления транспортных средств: учеб. пособие / М. П. Малиновский; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). – М., 2011. – 123 с.

63. Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от ДТП / Гос. науч.-исслед. ин-т автомобил. трансп. (НИИАТ). – М., 2000. – 35 с.

64. Мороз, С. М. Обеспечение безопасности технического состояния автотранспортных средств в эксплуатации: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / С. М. Мороз. – 2-е изд., переаб. – М.: Академия, 2015. – 202 с.

65. Мороз, С. М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств: учебник / С. М. Мороз. – М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2015. – 204 с.

66. Молодцов, В. А. Безопасность транспортных средств: учебное пособие / В. А. Молодцов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 236 с.

67. Мирошников, Л. В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. / Т. 1 Методология. Организация. Терминология / Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, В. И. Пал; под ред. А. И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.

68. Навроцкий, К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмопривода: учебник / К. Л. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.

69. Надеждин, Е. Н. Эконометрика: учеб. пособие. / Е. Н. Надеждин, Е. Е. Смирнова; под ред. Е. Н. Надеждина. – Тула: АНО ВПО «ИЭУ», 2011. – 176 с.

70. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Т. 2: Математические методы в теории надежности и эффективности / В. В. Белов,

Ю. К. Беляев, А. Г. Давтян и др.; под ред. Б. В. Гнеденко. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.

71. Надежность технических систем. Справочник/ Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

72. Нарбут, А. Н. Теория автомобиля: учебное пособие / А. Н. Нарбут // Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). – М., 2002. – 71 с.

73. Новоселов, В. Л. Совершенствование диагностирования тормозных систем автопоездов с антиблокировочной системой в эксплуатации: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук 05.22.10 / Новоселов Владимир Леонидович. – Екатеринбург, 2017. – 175 с.

74. ОДМ 218.4.004–2009. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог. М.: Росавтодор, 2009. – 62 с.

75. Оригинальная инструкция по эксплуатации диагностических линий IW/ MBT EUROSYSYSTEM. / ООО «МАХА Руссия». – Хальденванг (Альгой), 2011. – ВАЕ10101-ru. – 98 с.

76. Осипов, А. Г. Перспективы повышения безопасности колесных транспортных средств / А. Г. Осипов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 2 (49). – С. 99–104.

77. Осипов, Г. В. Метод диагностирования тормозных механизмов автомобиля: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Осипов Георгий Владимирович. – Тюмень, 2004. – 24 с.

78. О безопасности дорожного движения: [федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196–ФЗ] // Российская газета. – 1995. – № 245. – 28 с.

79. О техническом осмотре транспортных средств и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [федеральный закон] от 1 июля 2011 г. № 170–ФЗ] // Парламентская газета. – 2011. – № 33. – 26 с.

80. О проведении технического осмотра транспортных средств:

постановление Правительства Российской Федерации от 05.12.2011 № 1008 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2011. – № 50. – ст. 7397. – 34 с.

81. Об утверждении Правил оказания услуг (выполнения работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств: постановление Правительства Российской Федерации от 11.04.2001 № 290 // Российская газета. – 2001. – № 80-81. – 12 с.

82. Оборудования для автосервисов и СТО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.maha.ru/products/34-dlya\\_gruzovykh\\_avtomobilej\\_lkw/](http://www.maha.ru/products/34-dlya_gruzovykh_avtomobilej_lkw/).

83. Подопригора, Н. В. Методика определения параметров процесса торможения автотранспортных средств при реконструкции и экспертизе дорожно-транспортных происшествий: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Подопригора Николай Владимирович. – СПб, 2004. – 132 с.

84. Портнягин, Е. М. Метод контроля тормозной эффективности и устойчивости автомобилей с ABS при их диагностировании на роликовых стендах: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Портнягин Евгений Михайлович Волгоград. – Иркутск, 2007. – 17 с.

85. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс РСФСР. – М.: Транспорт, 1984 – 78 с.

86. Правила дорожного движения Российской Федерации: постановление Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 27.08.2018) // Российские вести. – 1993. – № 227. – 65 с.

87. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gibdd.ru/stat/>.

88. Продукция компании АО «Гаро Трейд» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.garotrade.ru/production/01\\_2\\_stendy\\_tormoznye\\_universalnye\\_dlya\\_legkovykh\\_i\\_gruzovykh\\_avtomobiley/bde\\_4504\\_n\\_sc\\_pc\\_1\\_smg\\_20t\\_produktsiya/](http://www.garotrade.ru/production/01_2_stendy_tormoznye_universalnye_dlya_legkovykh_i_gruzovykh_avtomobiley/bde_4504_n_sc_pc_1_smg_20t_produktsiya/).

89. Ревин, А. А. Формирование основных эксплуатационных свойств автотранспортных средств в режиме торможения / А. А. Ревин, В. Г. Дыгало // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 11. – С. 3–5.
90. Ротенберг, Р. В. Основы надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда / Р. В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1986. – 214 с.
91. Руководство водителя. – Södertälje: Scania CV AB, 2010. – 1029 с.
92. Румянцев, С. И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебник для ПТУ / С. И. Румянцев, А. Ф. Синельников, Ю. Л. Штоль. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.
93. Рябчинский, А. И. Устойчивость и управляемость автомобиля и безопасность дорожного движения: учеб. пособие / А. И. Рябчинский, В. З. Русаков, В. В. Карпов; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – Шахты, 2003. – 176 с.: ил., табл., граф. – Библиогр.: с. 174.
94. Руководство по эксплуатации BSA 510/512/540/542 и модели S. Испытательный стенд к диагностическому комплексу для анализа тормозной системы. – М.: ООО «Роберт БОШ», 2004. – 47 с.
95. Системы и компоненты для коммерческого транспорта. Каталог продукции – 2-е Издание. – Брюссель: WABCO Europe BVBA, 2016. – 168 с.
96. Селифонов, В. В. Теория автомобиля: учебное пособие / В. В. Селифонов, А. Ш. Хусаинов, В. В. Ломакин – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 102 с.
97. Сергеев, А. Г. Точность и достоверность диагностики автомобилей / А. Г. Сергеев. – М.: Транспорт, 1980.
98. Смирнов, Г. А. Теория движения колесных машин: учебник для вузов / Г. А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
99. Смолин, А. А. Метод дифференциального диагностирования тормозных систем автотранспортных средств на стендах с беговыми: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Смолин Александр Анатольевич. – Иркутск, 2009. – 200 с.

100. Спиридонов, Д. С. Разработка методик и средств оценки технического состояния инерционной тормозной системы при инструментальном контроле: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Спиридонов Дмитрий Сергеевич. – Владимир, 2010. – 21 с.

101. Степанов, А. Н. Метод последовательного диагностирования тормозной системы АТС с функционирующей ABS на одноплатформенном стенде с беговыми барабанами: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Степанов Алексей Николаевич. – Иркутск, 2010. – 23 с.

102. «Стоимость» человеческой жизни в России с учетом морального ущерба в начале 2018 года поднялась до 46,9 млн. рублей – исследование Финансового университета при Правительстве РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.fa.ru/org/div/cos/press/Documents/58\\_Life\\_Value\\_2018.pdf](http://www.fa.ru/org/div/cos/press/Documents/58_Life_Value_2018.pdf).

103. Судебная автотехническая экспертиза: Пособие для экспертов - автотехников, следователей и судей. Часть II Теоретические основы и методика экспериментального исследования при производстве автотехнической экспертизы / под ред. В. А. Иларионова. – М.: ВНИИСЭ, 1980. – 492 с.

104. Смешанный электропневматический тормозной привод [Электронный ресурс] / Журнал «За рулем». – Режим доступа: <https://wiki.zr.ru> / Смешанный\_электропневматический\_тормозной\_привод.

105. Статистика регистрации транспортных средств в органах ГТБДД по итогу периода с января по декабрь 2014 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.1gai.ru/publ/514260-skolko-avtomobiley-zaregistrirrovano-vrossii.html>.

106. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011). Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 877.

107. Универсальные тормозные стенды. СТМ 16000.02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.meta-moscow.ru/ru/store/universalnye-tormoznye-stendy/stm-16000-02.html#product\\_downloads](http://www.meta-moscow.ru/ru/store/universalnye-tormoznye-stendy/stm-16000-02.html#product_downloads).

108. Фалькевич, Б. С. Теория автомобиля / Б. С. Фалькевич. – М.: Машгиз, 1963. – 236 с.
109. Фаробин, Я. Е. Теория поворота транспортных машин / Я. Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.
110. Фаробин, Я. Е. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок / Я. Е. Фаробин, В. С. Щупляков. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
111. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 - 2012 годах»: постановление Правительства Российской Федерации от 20.02.2006 № 100 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006. – № 9 – ст. 1020. – 75 с.
112. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах»: постановление Правительства Российской Федерации от 03.10.2013 № 864 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2013. – № 41. – ст. 5183. – 132 с.
113. Федотов, А. И. Анализ конструктивных и метрологических параметров площадных стендов для контроля тормозных систем автомобиля / А. И. Федотов, В. Г. Власов // Журнал автомобильных инженеров 2013. № 2 (79). – С. 36–43.
114. Федотов, А. И. О применимости площадочных стендов для проверки тормозных систем АТС при техническом осмотре / А. И. Федотов, С. М. Мороз // Автомобильная промышленность. – 2013. № 12. – С. 21–22.
115. Харазов, А. М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей: справочное пособие / А. М. Харазов. – М.: Высшая школа, 1990. – 211 с.
116. Щукин, М. М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей: Конструкция, теория, расчет / М. М. Щукин. – М. – Л.: Машиностроение, 1961. – 211 с.
117. Электронная регулировка уровня для прицепов с пневмоподвеской (ECAS). Указания по установке и работе – 3-е Издание. Версия 003/10.04ru, 815 080 025 3. WABCO Europe BVBA, 2004. – 204 с.

118. Яковлев, Н. А. Теория автомобиля / Н. А. Яковлев, Н. В. Диваков. – М.: Высшая школа, 1962. – 297 с.
119. Яньков, О. С. Повышение качества контроля тормозных систем АТС на стендах с кинематически связанными опорными роликами: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук 05.22.10 / Яньков Олег Сергеевич. – Иркутск, 2017. – 283 с.
120. Bosch. Автомобильный справочник – 2-е издание. – М: ЗАО «КЖИ За рулём», 2004. – 992 с, с ил.
121. Brems- und Luftfedersysteme für Anhängerfahrzeuge / Knorr-Bremse Group. – Munich, Germany, 2012. – Dok.-Nr. Y007570 (DE – Rev. 005) – 386 p.
122. Dunn, A. L. Jackknife stability of articulated tractor semitrailer vehicles with high-output brakes and jackknife detection on low coefficient surfaces: Diss. PhD / A.L. Dunn. The Ohio State, 2003. – 344 p.
123. Santhosh, Ch. Development of a tractor - semitrailer roll stability control model: the Degree Master of Science in the Graduate School of The Ohio State University / Ch. Santhosh. – The Ohio State, 2007. – 176 p.
124. Ervin, R. D. An overview of the dynamic performance properties of long truck combinations / R. D. Ervin, P.S. Fancher, T.D. Gillespie. – Michigan, 1984. – 67 p.
125. Fahrerhandbuch. KNORR-BREMSE Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH. – Germany: 2006. – 59 p.
126. Knorr-Bremse AG. Connected: Annual Report / Dr. Detlef Hug, Knorr-Bremse AG. – München, Germany, 2016. – 52 p.
127. Knorr-Bremse AG. 110 Years making mobility safer: Annual Report / Dr. Detlef Hug, Knorr-Bremse AG. – München, Germany, 2015. – 52 p.
128. Knorr-Bremse Group. Produktkatalog. EBS - Elektronisches Bremssystem / KNORR-BREMSE Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH – Doc. No. Y074812 (DE – Rev. 002) November 2011– München, Germany: Knorr-Bremse Group, 2011. – 45 p.
129. Maas, J.W.L.H. Jackknife stability of a tractor semi-trailer combination. TU/e Mechanical Engineering Masterproject. – Eindhoven, 2007. – 49 p.
130. Mäurer, H. J. Sachverständigentag. Mobilität der Zukunft – sicher und geprüft / H. J. Mäurer, DEKRA Automobil GmbH. Stuttgart, 2015. – 28 p.

131. Mohamed, B. Jackknifing warning for articulated vehicles based on a detection and prediction system / B. Mohamed // 3rd International Conference on Road Safety and Simulation September 14–16, 2011. – Indianapolis, USA. – 13 p.

132. NHTSA's Tractor Semi-Trailer Stability Objective Performance Test Research – Roll Stability/ S. B. Frank, E. David and etc. // U.S. Department of Transportation. – Washington, District of Columbia, 2011. – DOT HS 811 467. – 205 с.

133. Online каталог запчастей для грузовиков Scania (Скания) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scania-catalog.ru/default.aspx?v=3592673>.

134. Shuwen Zhou, Siqi Zhang. Study on Tractor Semi-Trailer Roll Stability Control / Shuwen Zhou, Siqi Zhang // The Open Mechanical Engineering Journal. – 2014. – №8. – 238–242 p.

135. Zagorski, S. B. A Study of Jackknife Stability of Class VIII Vehicles with Multiple Trailers with ABS Disc / Drum Brakes / S. B. Zagorski, D. A. Guenther, G. J. Heydinger. SAE Paper 2004-01-1741, 2004.

136. Щербакова, О. В. Обоснование математической модели процесса соударения с целью разработки методики повышения оценки точности определения скорости движения автопоезда в начале опрокидывания на криволинейных траекториях / О. В. Щербакова // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – №2 (55). – С. 252–259.

137. Щербакова, О. В. Анализ заключений автотехнических экспертиз по дорожно-транспортным происшествиям / О. В. Щербакова // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 2 (49). – С. 160–163.

138. Щербакова, О. В. Исследование в области опрокидывания крупногабаритных ТС при криволинейном движении (зарубежный опыт) / О. В. Щербакова, С. А. Евтюков // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-технической конференции 2015. г. Санкт-Петербург «Горный институт» С. 59–62.

139. Щербакова, О. В. Экспериментальное исследование диагностических параметров тормозных свойств автопоезда и оценка эффективности работы

рабочей тормозной системы ТС / О. В. Щербакова, С. А. Евтюков, С. Н. Доценко // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №2 (61). – С. 224-231.

140. Щербакова, О. В. Совершенствование расчета установившегося замедления движения автопоезда по тормозному следу / О. В. Щербакова // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №3 (62). – С. 265-272.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

**Фотофиксация проведенного эксперимента и эталонные графики  
диагностических параметров САП в составе тягача Scania R 114 LA 4x2 LA  
340 SLA VIN № 9BSR4X20003592673 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24  
VIN № WSM00000003146303**



Рисунок 1 – Станция диагностической линии в Центре «АвтоЭксперт» по адресу:  
Санкт-Петербург, Кубинская ул. д. 77



Рисунок 2 – Автопоезд в составе тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA VIN №  
9BSR4X20003592673 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 VIN №  
WSM00000003146303



Рисунок 3 – Данные выводимые программой Eurosystem тормозного стенда IW 7 на экран в процессе измерения осей автопоезда

Программа преобразования результатов измерений Eurosystem в формат Excel

**Выбрать файл для обработки**

Имя файла для обработки

T008.txt

Дата записи файла

22.06.2016

Время записи файла

15:12:32

Номерной знак автомобиля

T008

**Преобразовать данные в Excel**

**Выход из программы**

Наличие графиков

- Сила торм. лев.
- Сила торм. прав.
- Усилие на педаль лев.
- Усилие на педаль прав.
- Давление в контуре лев.
- Давление в контуре прав.
- Давление лев.
- Давление прав.
- Вес лев.
- Вес прав.

Выбранные графики

Сила торм. лев.  
Сила торм. прав.  
Усилие на педаль лев.  
Усилие на педаль прав.  
Давление в контуре лев.  
Давление в контуре прав.  
Вес лев.  
Вес прав.

Номер оси: 1

Тип тормоза: Рабочий

Рисунок 4 – Общий вид программы преобразования результатов измерений IW 7 Eurosystem



Рисунок 5 – Пневматический радиодатчик давления и тройник

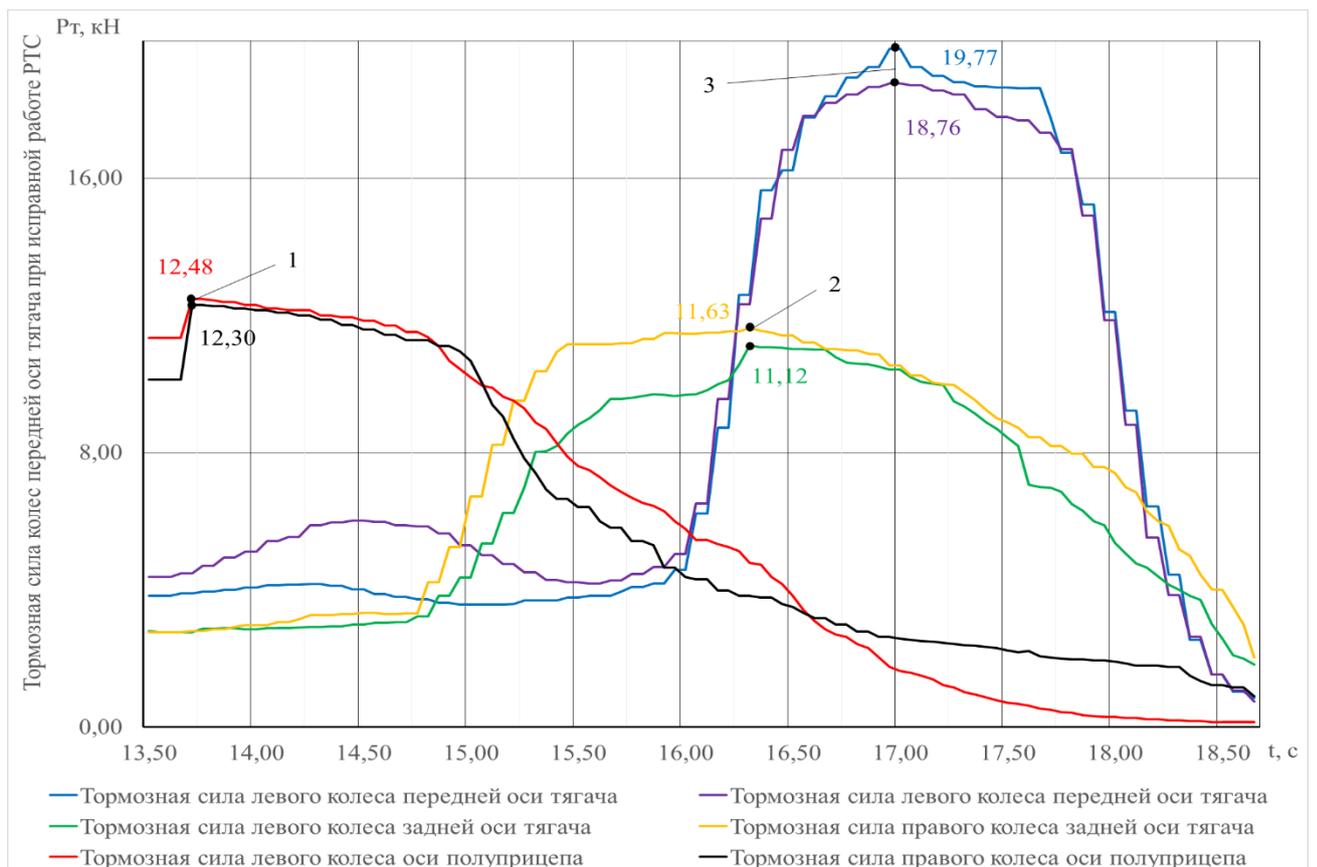


Рисунок 6 – Осциллограмма зависимости тормозных сил колес САП в зависимости от времени при торможении исправной РТС

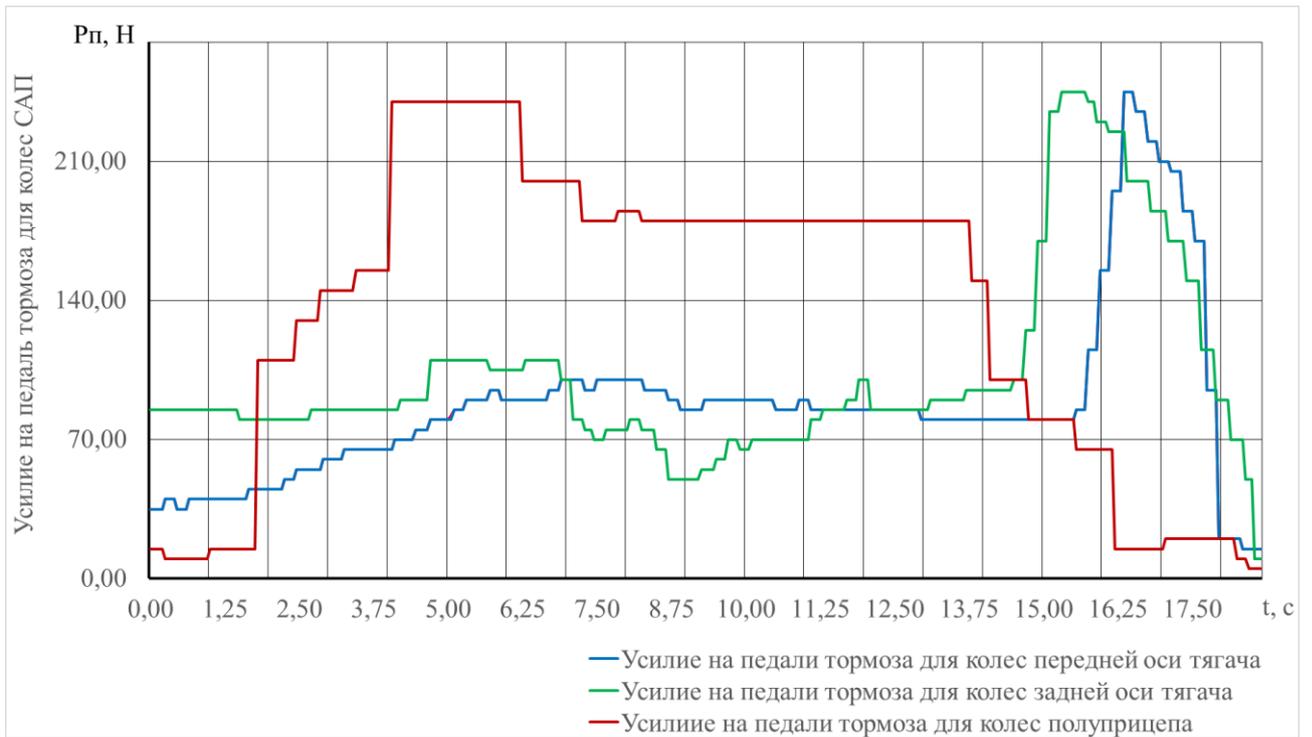


Рисунок 7 – Осциллограмма зависимости усилия на педаль тормоза при действии на колеса САП от времени при торможении исправной РТС

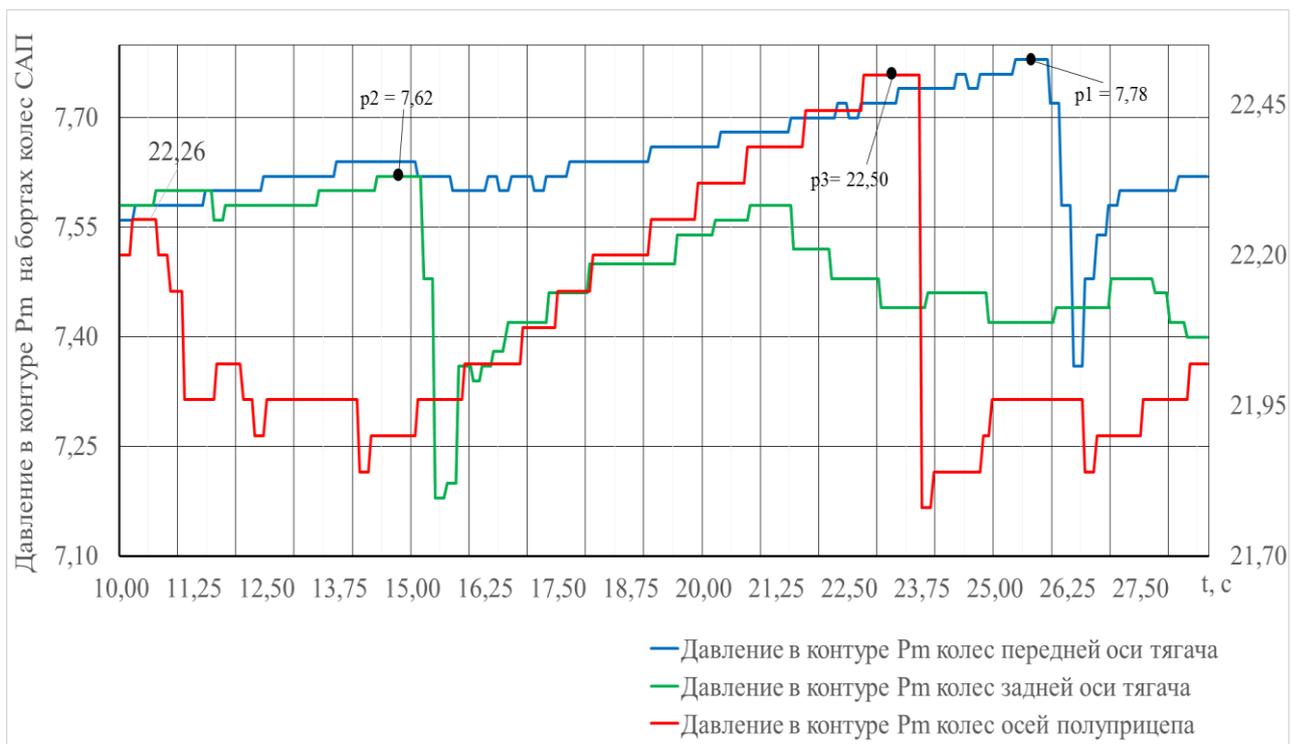


Рисунок 8 – Осциллограмма зависимости давления в тормозном контуре колес САП от времени при торможении исправной РТС

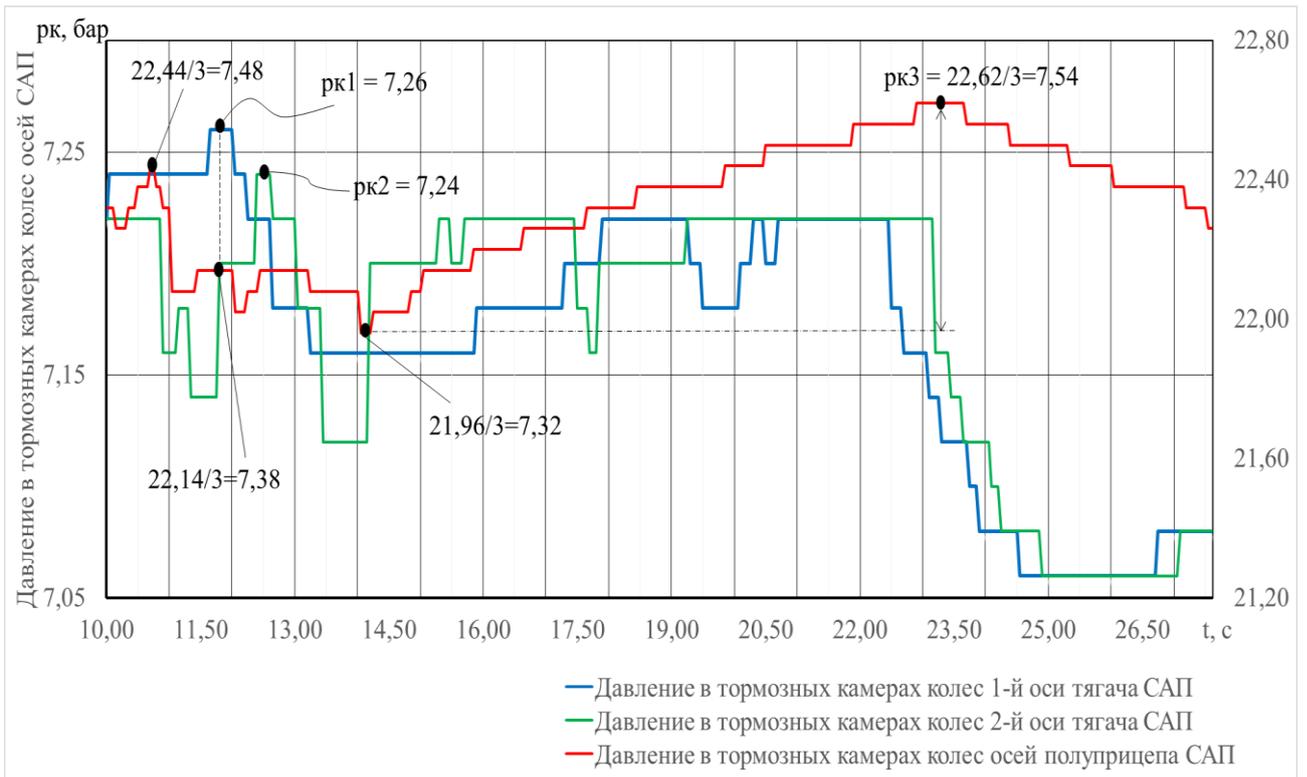


Рисунок 9 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес САП в зависимости от времени при торможении исправной РТС

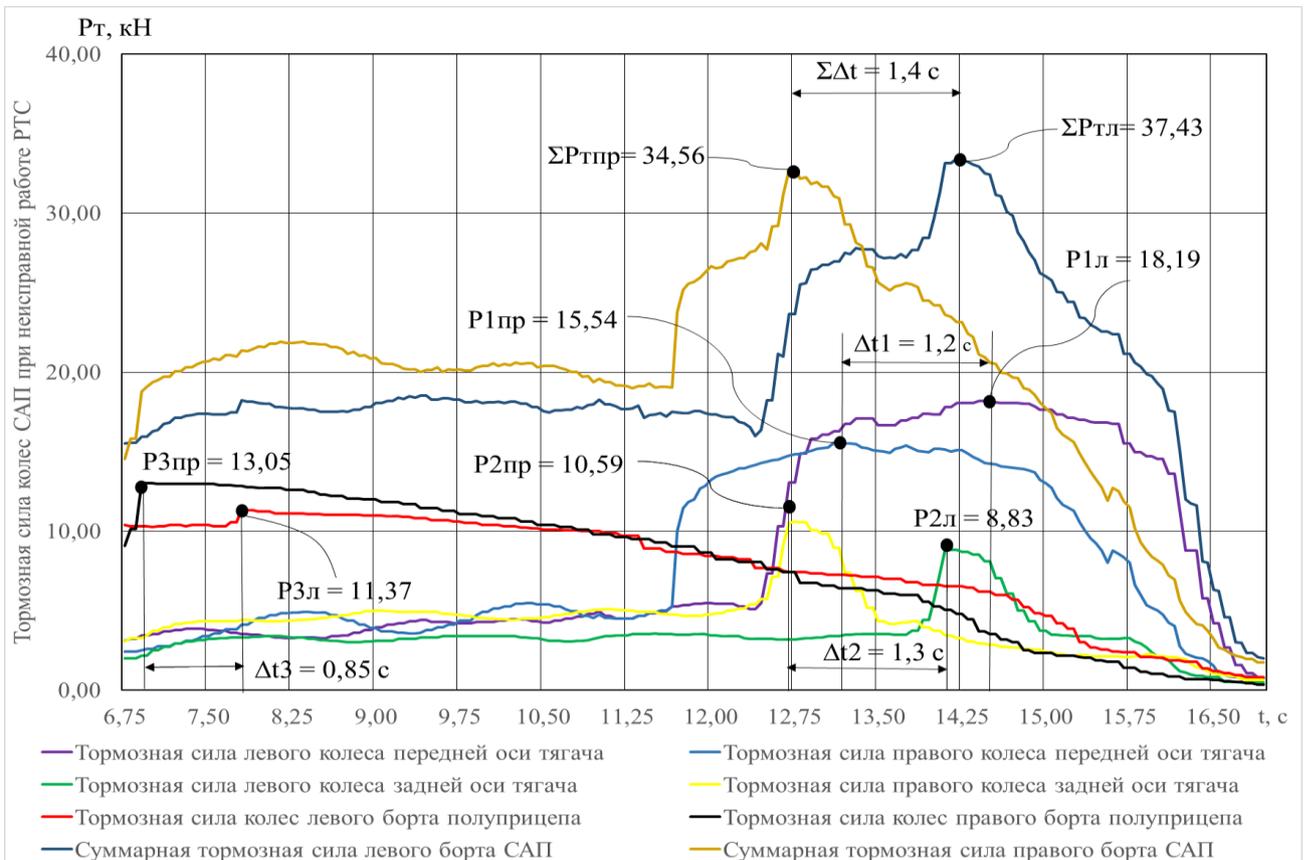


Рисунок 10 – Осциллограмма зависимости тормозных сил колес САП в зависимости от времени при торможении неисправной РТС

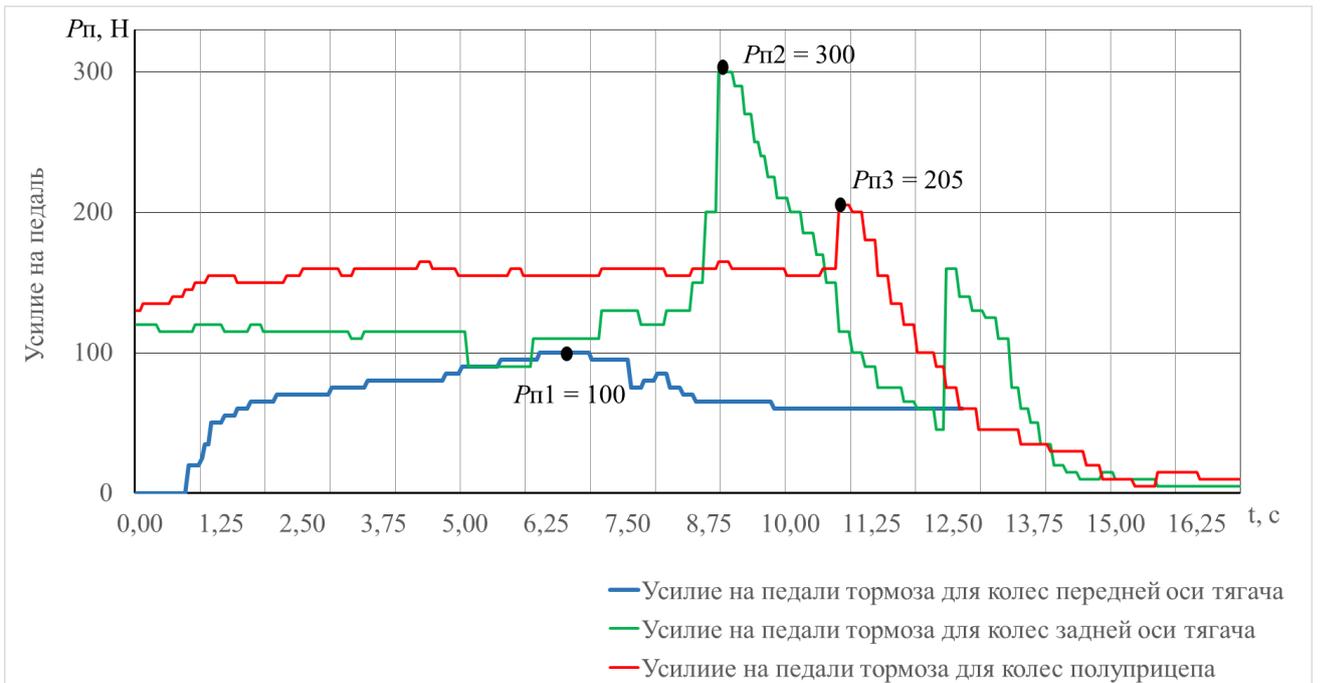


Рисунок 11 – Осциллограмма зависимости усилия на педаль тормоза при действии на колеса передней оси тягача в зависимости от времени при торможении неисправной РТС

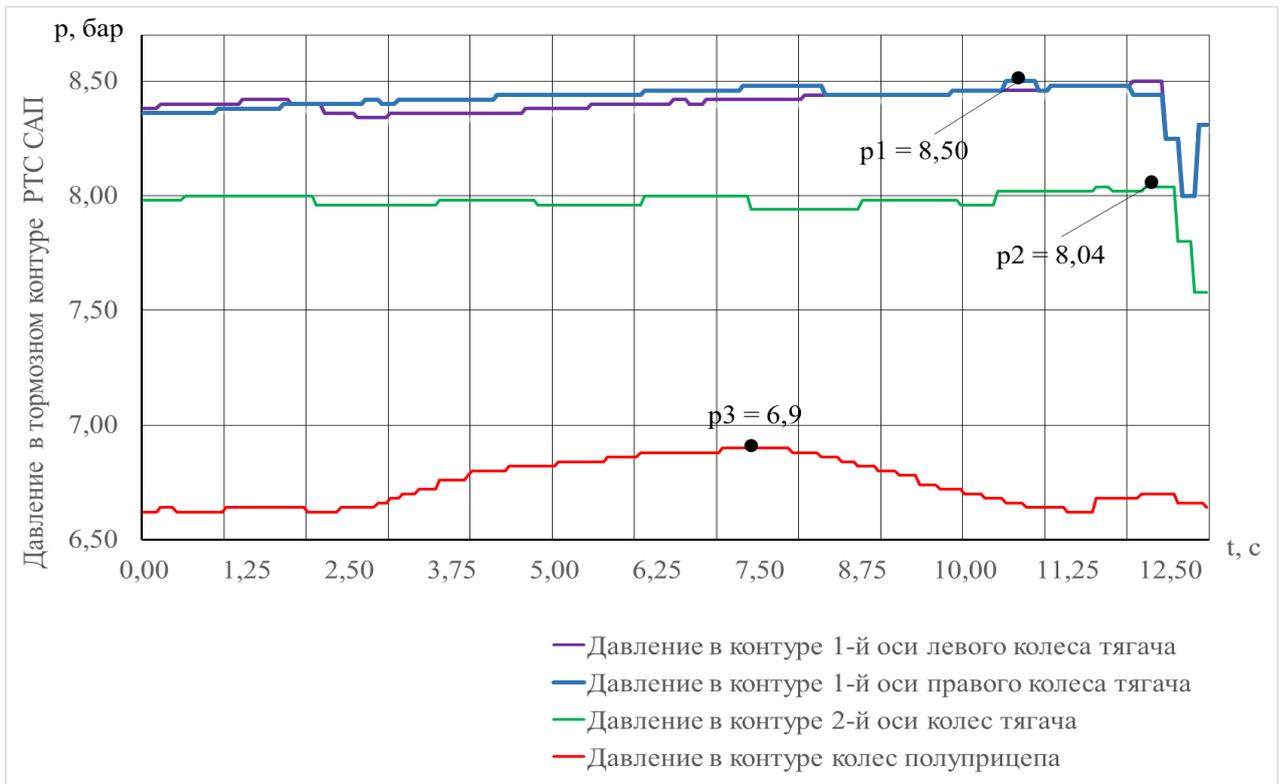


Рисунок 12 – Осциллограмма зависимости давления в тормозном контуре колес САП в зависимости от времени при торможении неисправной РТС

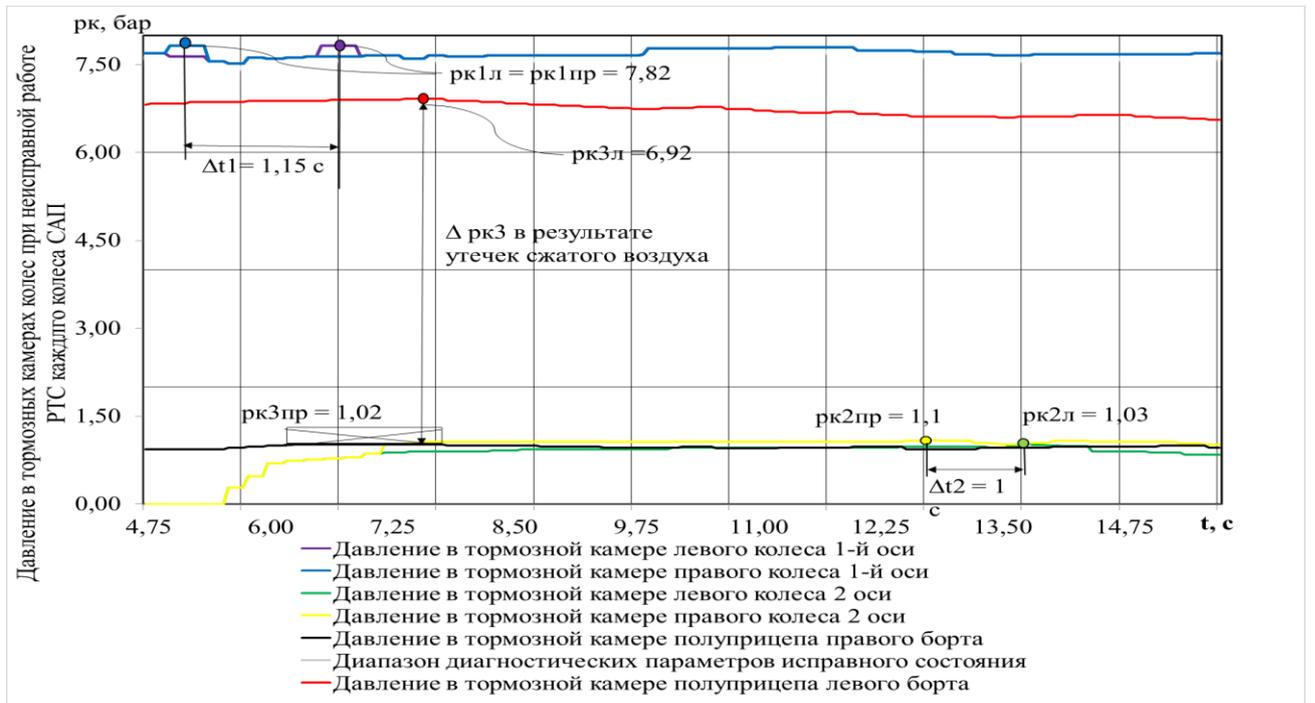


Рисунок 13 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес САП в зависимости от времени при торможении неисправной РТС

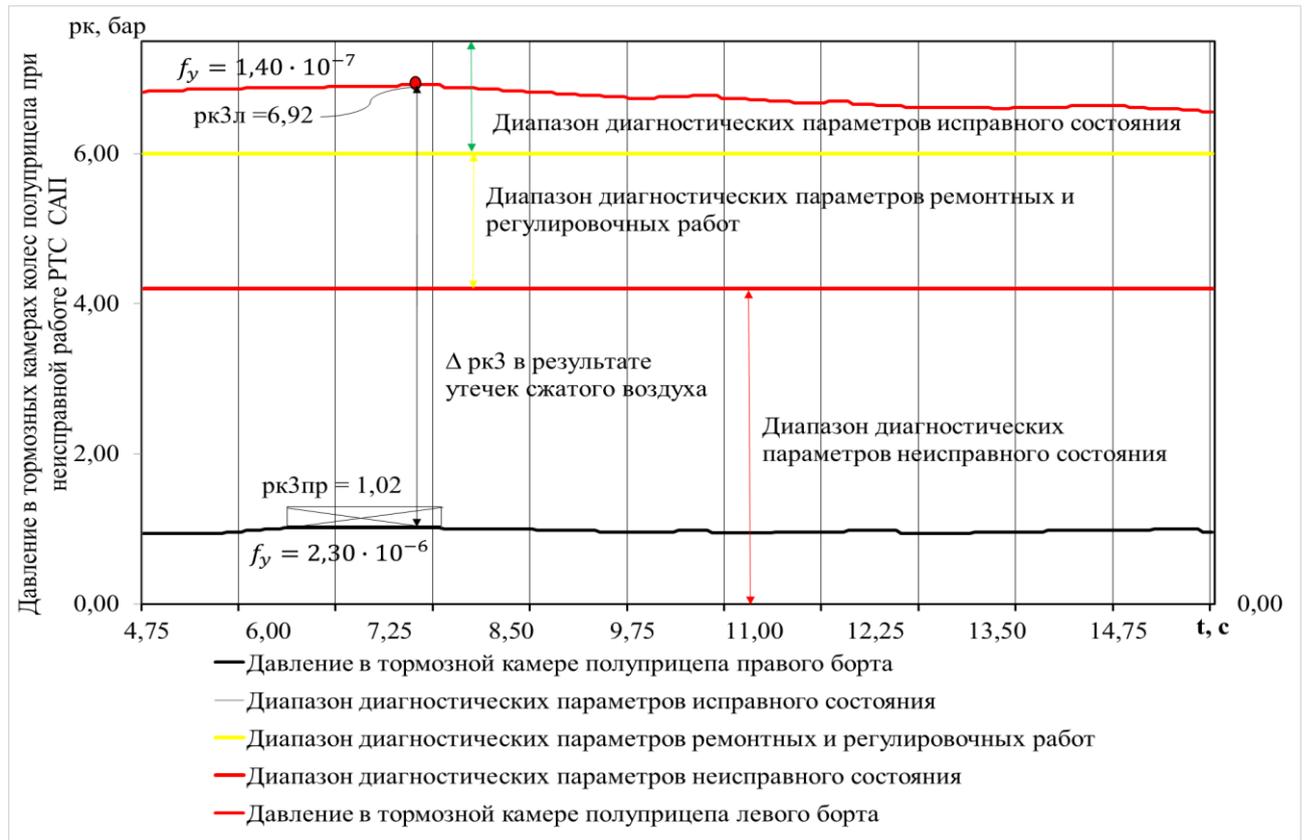


Рисунок 14 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес полуприцепа в зависимости от времени при торможении неисправной РТС

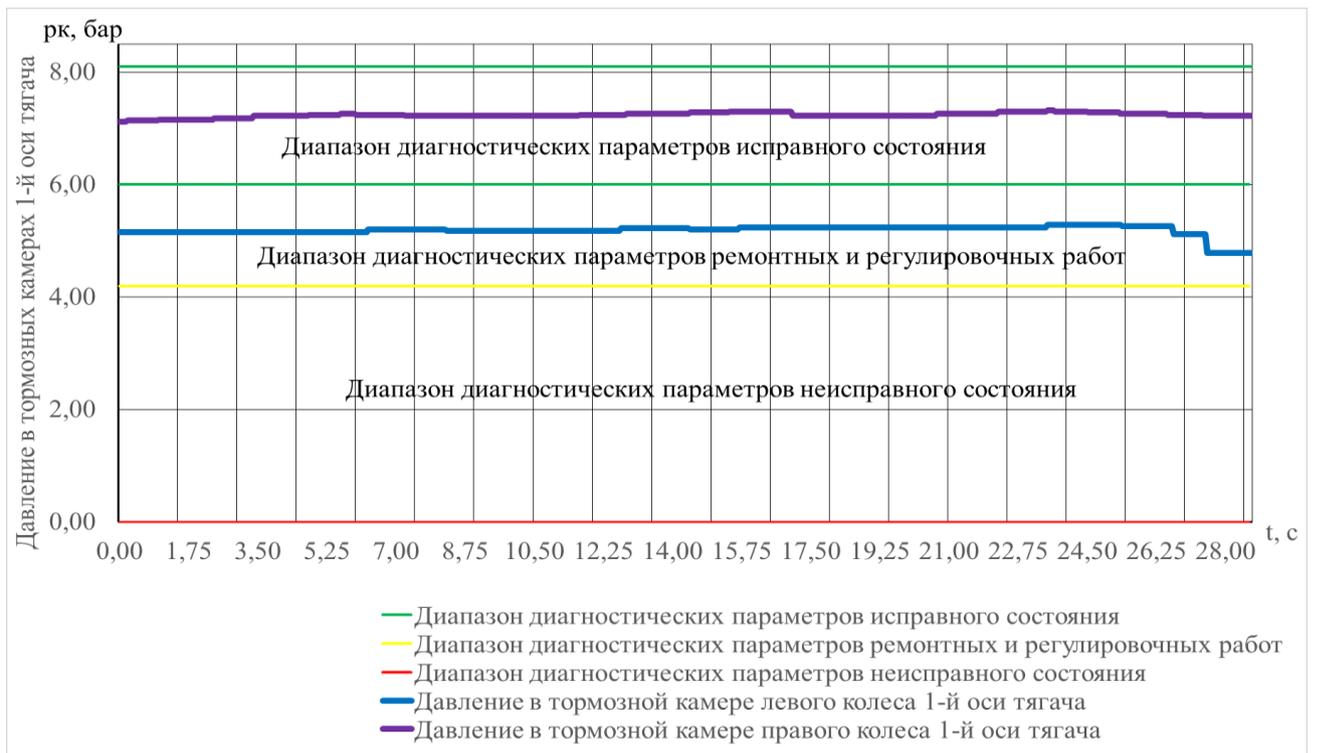


Рисунок 15 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес 1-й оси тягача в зависимости от времени при торможении РТС в диапазоне ремонтных и регулировочных работ

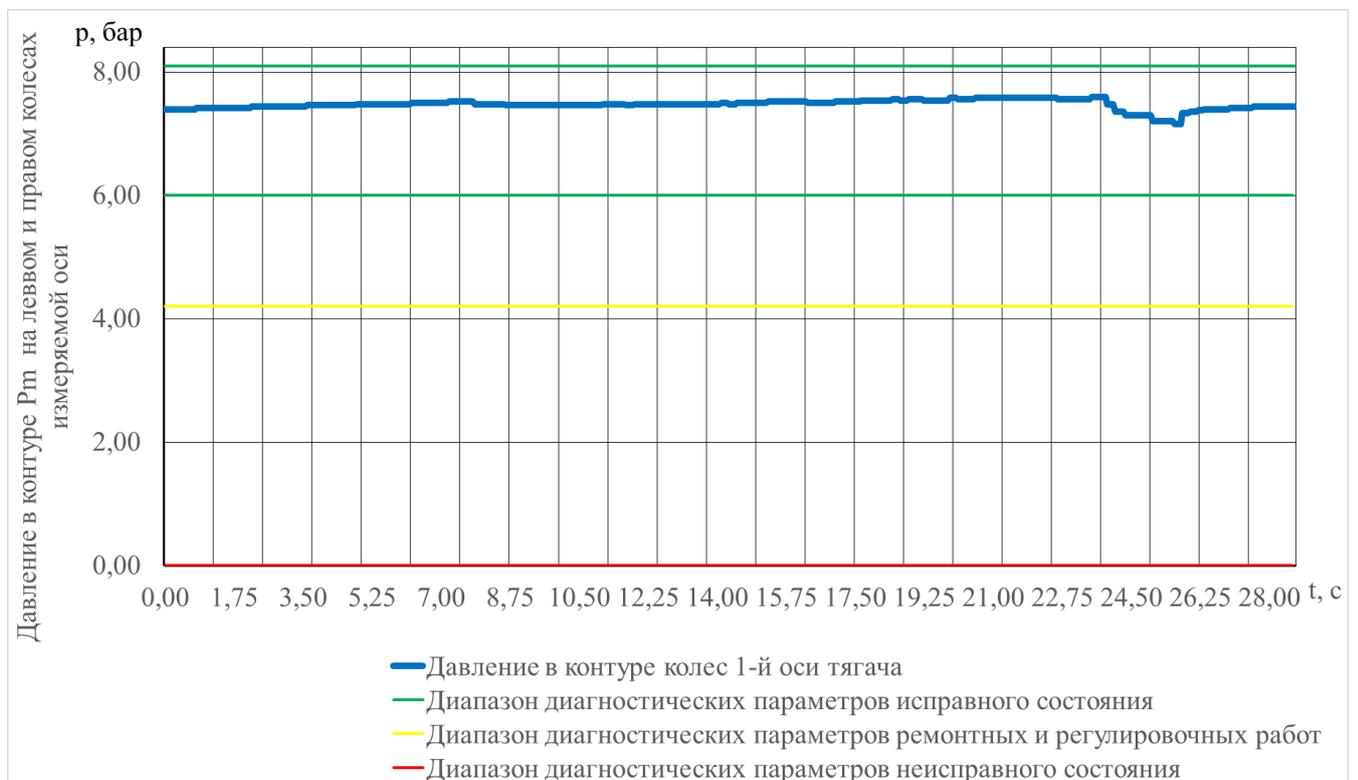


Рисунок 16 – Осциллограмма зависимости давления в тормозном контуре колес 1-й оси тягача в зависимости от времени при торможении исправной РТС с диапазонами возможных технических состояний пневмопривода РТС САП

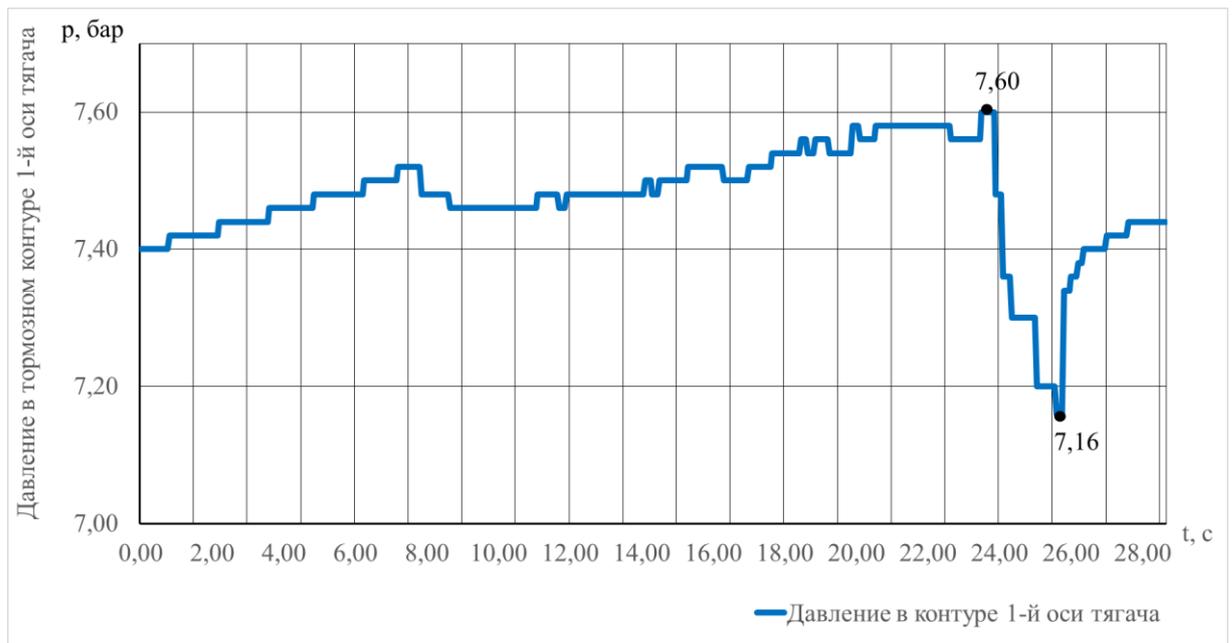


Рисунок 17 – Осциллограмма зависимости давления в тормозном контуре колес 1-й оси тягача в зависимости от времени при торможении исправной РТС



ДИПЛОМ  
О ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКЕ

ПП № 002394

Настоящий диплом выдан

*Василие*

(фамилия, имя, отчество)

*Сергею Николаевичу*

в том, что он(а) с "10" сентября 2013. по "13" октября 2013.

прошел(а) профессиональную переподготовку в Санкт-Петербургском

государственном архитектурно-строительном университете

по программе "Эксперт - механик"

(наименование программы дополнительного профессионального образования)

*по механической специальности*

*технических специальностей*

Аттестационная комиссия решением от "13" октября 2013.

удостоверяет право (соответствие квалификации)

*Василие*

(фамилия, имя, отчество)

*Сергею Николаевичу*

на ведение профессиональной деятельности в сфере *механической*

(наименование)

*технической деятельности механической специальности*

Диплом дает право на ведение нового вида профессиональной деятельности

Регистрационный номер *№10 от 23 сентября 2013г*

Город Санкт-Петербург год *2013*



Председатель  
аттестационной комиссии

*Владимир Владимирович Васильев*

(подпись)

*Васильев В.В.*

## Приложение 2

Таблица 2.1 – Технические характеристики тягача и полуприцепа

Тягач		
Марка	Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA	
VIN №	9BSR4X20003592673	
Год выпуска	1999	
Тип шасси	Магистральное назначение модели	
Исполнение шасси	Седельный тягач	
Колесная формула	4x2	
Колесная база	3550	мм
Расстояние от задней оси до ССУ	510	мм
Тип подвески: - передняя ось - задняя ось	рессорная пневматическая	
Двигатель	дизельный	
Трансмиссия	механическая	
Тормозной механизм	барабанный	
Экологический класс	Euro-2	
Объём двигателя	10 600	куб. см.
Масса без нагрузки	6 840	кг
Мощность двигателя	340	л.с.
Разрешенная макс. масса	18 600	кг
Нагрузка на переднюю ось	7100	кг
Нагрузка на заднюю ось	11500	кг
Ширина	2900	мм
Длина	5810	мм
Передний свес	1460	мм
Полуприцеп		
Марка	Schmitz Cargobull SPR 24	
VIN №	WSM00000003146303	
Тип	SPR24	
опорный домкрат	jost modul	
Длина кузова внутри	13620	мм
Длина кузова снаружи	13690	мм
Высота кузова спереди внутри	2665	мм
Общая высота впереди без груза	4007	мм
Общая высота сзади без груза	4002	мм
Ширина кузова внутри	2480	мм
Высота кузова внутри	2715	мм
Размер шин	385/65R22.5	
Грузоподъемность (доп./техн.)	35000/39000	кг
Полезная нагрузка (доп./техн.)	28357/32357	кг
Нагрузка на оси (доп./техн.)	24000/27000	кг
Нагрузка на ССУ (доп./техн.)	11000/12000	кг
Собственный вес	6643	кг
Высота ССУ без груза	1150	мм
Высота ССУ с грузом	1225	мм

Продолжение таблицы 2.1

Колесная база	7700	мм
электронные блоки управления		
ELC (Electronic level control)	пневмоподвеска с электронным контролем уровня положения кузова).	
ABS (Anti-lock braking system)	антиблокировочная система.	
ЕЕВ (Electronic Exhaust Brake)	моторный замедлитель с электронным управлением	

### Приложение 3

#### Технические характеристики оборудования для проверка технического состояния ТС

Таблица 3.1 – Технические характеристики силового роликового тормозного стенда IW 7 Eurosystem

Серия	IW 7 Eurosystem (MBT 7250 Eurosystem)	
Модель	класс «премиум»	
Роликовый агрегат	MBT 7000 RS 2, разделенный	
Габариты:		
-длина	2225	мм
- ширина	862	мм
- высота	400	мм
Осевая нагрузка	18	т
Мощность электроприводов	2 x 11	кВт
Скорость вращения роликов при измерении	3	км/ч
Пределы измерения	0 - 40	Н
Точность измерения	2% от верхнего предела измерения, 2 % разности между левой и правой сторонами	
Скорость считывания сигналов	100 измерений	сек
Расстояние между осями роликов	475	мм
Длина роликов	1150	мм
Диаметр роликов	265	мм
Усиленные приводы	2 x 16	кВт
Напряжение питания, частота	3x380В/3x380В, 50/60 Гц	
Защита по току	50 - 80	А

Базовая комплектация:

- Коммуникационный пульт MCD 2000;

- Роликовый агрегат MBT 7000 RS 2, разделенный, мощность электропривода 2\*11 кВт;

- Ролики для шипованных и обычных колес (универсальные);

- ПК (Profi-Eurosystem PC) с монитором;

- Подготовка для установки весов.

IW 7 Eurosystem силовой роликовый тормозной стенд немецкой фирмы «МАНА» предназначен для проверки эффективности работы тормозной системы автотранспортного средства – для легковых, грузовых автомобилей и автобусов с допустимой нагрузкой на ось до 18,0 т. Тормозной стенд определяет усилия тормозной системы и их эффективность, а также разницу усилий тормозной системы между правым и левым колесом.

Тормозной стенд IW 7 Eurosystem – это высокотехнологичное решение от компании «МАНА», предлагающее пользователю широчайшие возможности. В комбинации с другими диагностическими приборами он позволяет осуществлять полную, объективную диагностику транспортного средства за несколько минут, обеспечивает высокий уровень эргономии.

Стенд компании «МАНА» IW 7 Eurosystem предназначен для линий приемки и диагностики с большой пропускной способностью; соответствует требованиям, предъявляемым к оборудованию для Гостехосмотра, имеет современный компьютерный интерфейс, программное обеспечение и широкие сетевые возможности обеспечивают максимальное удобство в работе.

Таблица 3.2 – Технические характеристики прибора Эффект – 02

№	Параметры измерения	Ед. измерения	Значение
1	установившееся замедление ( $j_{уст}$ )	м/с <sup>2</sup>	0...9,81
2	усилие нажатия на педаль ( $P_n$ )	кгс (Н)	10...100 (98...980)
3	тормозной путь $S_T$	м	0...50
4	начальная скорость торможения $V_0$	км/ч	20...50
5	пересчитанная норма тормозного пути $S_T^*$	м	0...50
6	время срабатывания тормозной системы $t_{cp}$	с	0...3
7	Скорость считывания сигналов	20 измерений	сек

Продолжение таблицы 3.2

Пределы основной допускаемой относительной погрешности			
1	установившееся замедление	%	±4
2	усилие нажатия на педаль	%	±5
3	время срабатывания тормозной системы	%	±0,1
Параметры прибора			
1	напряжение питания	В	12±2
2	потребляемая мощность	Вт	не более 2
3	Габаритные размеры электронного блока	мм	206x75x38
4	Габаритные размеры датчика усилия	мм	135x95x70
5	Масса электронного блока	кг	0,4
6	Масса датчика усилия	кг	0,5

Таблица 3.3 – Технические характеристики тормозной стенда СТМ 16000.02

Диапазон измерений тормозной силы	от 0 до 40 кН
Скорость вращения колеса при измерении	2 км/ч
Предел относительной погрешности измерений тормозной силы	не более ±3 %
Диапазон измерений силы, прикладываемой к органам управления тормозных систем	от 0 до 1000 Н
Предел относительной погрешности измерений силы, прикладываемой к органам управления тормозных систем	не более ±5 %
Скорость считывания сигналов	20 измерений в сек
Диапазон измерений массы	от 0 до 16000 кг
Предел относительной погрешности измерений массы	не более ±3 %
Мощность, потребляемая стендом	не более 16 кВт
Параметры четырехпроводной трехфазной сети электропитания с допускаемыми отклонениями по ГОСТ 12 997–84	
напряжение	380+10%-15% В
частота	50±1 Гц
Время установления рабочего режима	не более 15 мин
Время непрерывной работы стенда	не менее 8 ч
Габаритные размеры опорное роликовое устройство	
Длина	800 мм
Ширина	2010 мм
Высота	440 мм
Габаритные размеры шкаф управления	
Длина	550 мм
Ширина	460 мм

Продолжение таблицы 3.3

Высота	120 мм
Масса опорное роликное устройство	не более 600×2 кг
Масса шкаф управления	не более 20 кг
Рабочий диапазон температур опорного устройства	от -10 до +40 °С
Мощность	16 кВт
Сеть	380 В
Грузоподъемность	16000 кг
Диапазон измерения	0-40
Скорость вращения колеса при измерении	2 км/ч
Ширина колеи	900–2900 мм
Диаметр колеса до	600–1200 мм

Линия технического контроля фирмы МЕТА ЛТК-С 16000.02 - автоматизированная универсальная линия технического контроля для легковых и грузовых большегрузных автомобилей, а также автобусов всех категорий с осевой нагрузкой до 16 тонн. Проверка осуществляется на соответствие требованиям ГОСТ 33997–2016 и Технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» при техосмотре, техобслуживании и ремонте.

Таблица 3.4 – Технические характеристики тормозной стенда BDE 4504 N SC PC 1 SmG 20t

1	Максимальная нагрузка на ось, кг	100-20000
2	Диапазон измерений тормозной силы (на одном колесе), кН	0 - 40
3	Диапазон измерений силы на органе управления тормозной системы, Н	0 - 1000
4	Скорость считывания сигналов	20 измерений в сек
5	Начальная скорость торможения, имитируемая на стенде, км/ч	2,6
6	Диаметр колес ТС, мм	520-1300
7	Ширина колеи, мм	800/2800
8	Электропитание, В	380
9	Потребляемая мощность электрооборудования, кВт	30
10	Максимальная мощность при измерении максимальной тормозной силы в течение 10 секунд, кВт	95
Габаритные размеры опорного устройства левое (правое), мм		
11	Длина	1200
12	Ширина	1235
13	Высота	700

Тормозной стенд BDE 4504 N SC PC 1 SmG 20t Группы компаний «ГАРО» предназначен для контроля тормозных систем легковых и грузовых автомобилей, автобусов и автопоездов с нагрузкой на ось до 20т для контроля эффективности рабочей и стояночной тормозных систем. Методы проверки полностью соответствуют техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» и ГОСТ 33997–2016.

#### Приложение 4

##### Список автопоездов, используемых в экспериментальных исследованиях

Таблица 4.1 – Седельные тягачи автопредприятия «Миларин», исследуемые в Центре «АвтоЭксперт»

№	Марка тягача	Гос. номерной знак	VIN №
1	SCANIA R 114 LA4X2LA 340	В 887 МЕ 98	9BSR4X20003592673
2		В 812 МЕ 98	9BSR4X20003588487
3		В 813 МЕ 98	9BSR4X20003588492
4		В 814 МЕ 98	9BSR4X20003588813
5		В 815 МЕ 98	9BSR4X20003588488
6		В 816 МЕ 98	9BSR4X20003588489
7		В 817 МЕ 98	9BSR4X20003588485
8		В 818 МЕ 98	9BSR4X20003588486
9		В 819 МЕ 98	9BSR4X20003587490
10		В 820 МЕ 98	9BSR4X20003588812
11		В 821 МЕ 98	9BSR4X20003585990
12		В 822 МЕ 98	9BSR4X20003585950
13		В 823 МЕ 98	9BSR4X20003585959
14		В 824 МЕ 98	9BSR4X20003585971
15		В 826 МЕ 98	9BSR4X20003585944
16		В 837 МЕ 98	9BSR4X20003590747
17		В 839 МЕ 98	9BSR4X20003590774
18		В 840 МЕ 98	9BSR4X20003590784
19		В 841 МЕ 98	9BSR4X20003590777
20		В 842 МЕ 98	9BSR4X20003590792
21		В 843 МЕ 98	9BSR4X20003590769
22		В 844 МЕ 98	9BSR4X20003590761

Таблица 4.2 – Полуприцепы автопредприятия «Миларин», исследуемые в Центре «АвтоЭксперт»

№	Марка тягача	Гос. номерной знак	VIN №
1	SCHMITZ SPR 24 G	BA 7566 78	WSM00000003146303
2		AT 3745 78	WSK00000001218236
3		AT 3746 78	WSK00000001218228
4		AT 3747 78	WSK00000001218229
5		AT 3748 78	WSK00000001218234
6		AT 3749 78	WSK00000001218233
7		AT 3750 78	WSK00000001218232
8		AT 3451 78	WSK00000001218231
9		AT 3452 78	WSK00000001218230
10		AT 3453 78	WSK00000001218235
11		AT 3469 78	WSK00000001218237
12		AT 3470 78	WSK00000001218238
13		AT 3471 78	WSK00000001218239
14		AT 3472 78	WSK00000001218240
15		AT 3473 78	WSK00000001218241
16		AT 3474 78	WSK00000001218242
17		AT 3475 78	WSK00000001218243
18		AT 3476 78	WSK00000001218244
19		AT 3477 78	WSK00000001218245
20		AT 3479 78	WSK00000001218247
21		AT 3480 78	WSK00000001218248
22		AT 3481 78	WSK00000001218249

## Приложение 5

### Акты использования результатов диссертационного исследования

**Центр контроля техниче-  
ского состояния транспорт-  
ных средств**

Общество с ограниченной  
ответственностью

Россия, 198207, Санкт-Петербург  
пр. Стачек д.108  
Тел./факс (812) 606-67-39/606-67-49

В диссертационный совет  
Д 212.223.02 при ФГБОУ ВПО  
«Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**Акт внедрения  
результатов диссертационной работы Щербаковой О.В.**

**по теме: «Методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов  
тормозных механизмов седельных автопоездов», представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук**

В центре контроля технического состояния транспортных средств на современном тормозном роликовом стенде IW 7 Eurosystem немецкой фирмы «МАНА» впервые были произведены экспериментальные исследования по измерению параметров рабочих процессов функционирования пневмопривода рабочей тормозной системы (далее – РТС) САП в составе тягача Scania R 114 LA 4x2 LA 340 SLA VIN № 9BSR4X20003592673 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24 VIN № WSM00000003146303 и сопоставления их с диагностическими параметрами при имитации дефектов различной степени развития для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам на механизм складывания САП.

В результате проведенного эксперимента получены сводные графики рабочих процессов, которые для различного технического состояния пневмопривода РТС в режиме реального времени характеризуют их соответствие диагностическим параметрам конкретного диапазона на проверяемом участке. Это позволяет:

- дать общую характеристику технического состояния пневмопривода РТС;
- локализовать участок, на котором система не герметична;
- дать рекомендацию о необходимости проведения технического воздействия системы – регулировки или ремонта конкретного участка магистрали или тормозного механизма.

По результатам проведенных исследований и полученных данных были разработаны следующие методики:

1. Методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обосновать допустимое по БДД техническое состояние по факторам для пневмопривода каждого колеса САП.

2. Методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП и обработки экспериментальной оценки свойств.

Результаты исследования используются ООО «Центр контроля технического состояния транспортных средств» для обеспечения высокого уровня контроля технического состояния

транспортных средств и расширяют возможности ООО «Центр контроля технического состояния транспортных средств» оценки технического состояния тормозной системы транспортных средств. Также данные исследования и новый опыт возможно распространять в других городах регионов Российской Федерации.

Генеральный директор



Ю.А. Харитонов

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬ  
ПАВЛЕНКО ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Адрес: 195299, Санкт-Петербург, улица Кубинская, дом 77, лит. А  
ИНН 780210986206 ОГРНИП 312784705200057

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель «ИП Павленко

Дмитрий Сергеевич»

Павленко Д.С.

« 04 » сентября 2018 г.



Акт внедрения

технических предложений в совершенствование процесса технического диагностирования тормозных систем седельных автопоездов на линии технического контроля «ИП Павленко Дмитрий Сергеевич» в Центре «АвтоЭксперт» (195299, Санкт-Петербург, улица Кубинская, дом 77, лит. А) и методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов седельных автопоездов по результатам диссертационного исследования аспиранта СПбГАСУ Щербаковой Ольги Владимировны

Настоящий акт составлен в том, что в результате проведения диссертационного исследования на линии технического контроля МАНА IW 7 Eurosystem в Центре «АвтоЭксперт» при определении технического состояния тормозных систем седельных автопоездов в составе тягача Scania R114 и полуприцепа Schmitz Cargobull SPR 24, принадлежащих ООО «Миларин» (Санкт-Петербург, Красное село, ул. Свободы, д. 63, лит. А) в период с 20.06.2016 по 22.07.2016 проведено опробование методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов седельных автопоездов и выполнена локализация дефектов пневмопривода их рабочих тормозных систем. В процессе применения предложенных аспирантом СПбГАСУ Щербаковой Ольгой Владимировной и заведующим лабораторией кафедры наземных транспортно-технологических машин Долценко Сергеем Николаевичем технических средств (пневматических радиодатчиков давления сжатого воздуха с передачей радиосигнала на АИВК линии технического контроля МАНА с тормозным роликовым стендом IW 7 Eurosystem) и программного комплекса обработки данных обработки данных были получены недоступные ранее

диагностические параметры, позволяющие экспертам по инструментальному контролю и диагностированию транспортных средств локализовать дефекты пневмоприводов рабочих тормозных систем седельных автопоездов. При подключении в рабочую тормозную систему устройства, позволяющего имитировать утечку рабочего тела (воздуха) с различной (регулируемой) интенсивностью были получены данные, позволившие оценить чувствительность диагностической аппаратуры, значения и диапазоны диагностических параметров, а также с высокой степенью достоверности определять участки пневмопривода, в которых значения диагностических параметров рабочих процессов отличаются от нормативных.

Указанная выше методика принята экспертами линии технического контроля МАНА с тормозным роликовым стендом IW 7 Eurosystem к использованию при определении технического состояния рабочих тормозных систем седельных автопоездов на линии технического контроля в Центре «АвтоЭксперт» и рекомендована для внедрения в систему технического контроля.

Аспирант СПбГАСУ  
Заведующий лабораторией каф. НТТМ  
Эксперт контролер тех. состояния АТС



Щербакова О.В.  
Доценко С.Н.  
Луппов С.В.



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»

**ИНСТИТУТ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

ул. Курляндская, д. 2/5, Санкт-Петербург, 190103  
тел. 575-01-93 www.ibdd.ru



24.09.18 № 61-31-467

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора института  
безопасности дорожного  
движения

*В.Н. Добромиров*  
Добромиров В.Н.  
«04» сентября 2018

**Акт внедрения результатов диссертационной работы  
Щербаковой Ольги Владимировны в деятельность  
Института безопасности дорожного движения (ИБДД)**

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы аспиранта СПбГАСУ Щербаковой Ольги Владимировны на тему: «Методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов седельных автопоездов», используются в Центре повышения квалификации автомобильно-дорожного факультета СПбГАСУ при профессиональной переподготовке и повышении квалификации специалистов по программе «Судебная инженерно-техническая экспертиза», «Эксперт-техник по независимой технической экспертизе транспортных средств» (по специализации - Судебная автотехническая экспертиза), а также в практической деятельности ИБДД.

Применение методики стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов седельных автопоездов позволяет определить диапазоны значений различных технических состояний пневмопривода РТС САП, которые характеризуют допустимое по БДД техническое состояние по факторам для пневмопривода каждого колеса САП и принять решение о необходимости, составе и видах работ по приведению, в случае целесообразности, этих параметров в диапазоны соответствующе исправному состоянию. Разработанная методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП позволяет выполнить оценку внутренних параметров рабочих процессов РТС САП: утечки сжатого воздуха в пневмоприводе, перепад давлений в элементах пневмопривода РТС САП, влияние длины тормозных контуров, время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем САП при внешних утечках, что является первопричинами, вызывающими бортовую несимметрию действия тормозных сил на колесах САП и как следствие ДТП в результате их складывания.

Декан АДФ  
К.т.н., доцент



*С.М. Грушецкий*  
Грушецкий С.М.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»**  
**(СПбГАСУ)**

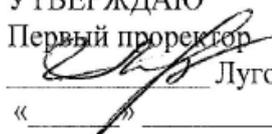
2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербург, 190005. Тел: (812) 400-06-67. Факс: (812) 316-58-72. E-mail: rector @ spbgasu.ru  
ИНН 7809011023 / КПП 783901001, ОКПО 02068580, ОКВЭД 85.22

17.10.2018 № 68.06.03/84

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

 Луговская И.Р.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 г.

**Акт внедрения**  
**результатов диссертационной работы Щербаковой О.В.**

**по теме: «Методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов**  
**тормозных механизмов седельных автопоездов»**

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы по теме: «Методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов седельных автопоездов», приняты к использованию в учебном процессе при подготовке студентов по направлениям 23.03.01, 23.04.01 Технология транспортных процессов, профиль подготовки «Организация и безопасность движения», а также 23.03.03, 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, профиль подготовки «Эксплуатация автотранспортных средств, дорожных и строительных машин».

Декан АДФ  
к.т.н., доцент



С.М. Грушецкий

## Приложение 6

Таблица 6.1 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям тормозных сил неисправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
Тормозная сила 1-я ось тягача	18,19	15,54	2,3	2,3
2-я ось тягача	8,83	10,59	1,4	1,5
Ось полуприцепа	3,79	4,35	2,6	2,7

Таблица 6.2 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям усилия на педали тормоза неисправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
усилие на педаль тормоза 1-я ось тягача	100	100	4,14	4,14
2-я ось тягача	300	300	5,987	5,987
Ось полуприцепа	205	205	5,24	5,24

Таблица 6.3 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям давления в тормозном контуре неисправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
давление в тормозном контуре 1-я ось тягача	8,50	8,50	0,09	0,09
2-я ось тягача	8,04	8,04	0,29	0,29
Ось полуприцепа	6,90	6,90	0,17	0,17

Таблица 6.4 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям давления в тормозных камерах неисправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
давление в тормозной камере 1-я ось тягача	7,82	7,82	0,098	0,078
2-я ось тягача	1,03	1,10	4,82	4,87
Ось полуприцепа	6,92	1,02	0,178	0,99

Таблица 6.5 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям давления в тормозных камерах исправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
давление в тормозной камере 1-я ось тягача	7,26	7,26	0,088	0,088
2-я ось тягача	7,24	7,24	0,68	0,61
Ось полуприцепа	7,54	7,54	0,086	0,086

Таблица 6.6 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям давления в тормозном контуре исправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
давление в тормозном контуре 1-я ось тягача	7,78	7,78	0,096	0,096
2-я ось тягача	7,62	7,62	0,119	0,119
Ось полуприцепа	7,50	7,50	0,098	0,098

Таблица 6.7 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям тормозных сил исправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
Тормозная сила 1-я ось тягача	19,77	18,76	2,88	-2,99
2-я ось тягача	11,12	11,63	2,10	2,65
Ось полуприцепа	4,16	4,10	2,80	2,56

Таблица 6.8 – Обработка результатов эксперимента по измеренным значениям усилия на педали тормоза исправной РТС САП

Измеряемый параметр рабочего процесса	левое колесо	правое колесо	Относительная погрешность, %	
			левое колесо	правое колесо
усилие на педаль тормоза 1-я ось тягача	245	245	6,03	6,03
2-я ось тягача	245	245	4,54	4,54
Ось полуприцепа	240	240	5,24	5,24

## Приложение 7

### Расчет экономической эффективности от применения разработанных методик

Условия для расчета экономической эффективности от применения разработанных методик: на автопредприятии 100 седельных тягачей и 100 полуприцепов, в течении 2017 года 10 САП попали в ДТП с повреждением ТС и грузов. Тогда годовой ущерб  $C_{ущ}$  от ДТП составит 7 243 007,5 руб.

Согласно расчетам проведенным Финансовым университетом при Правительстве РФ, [98] при наличии погибших людей в ДТП величина ущерба составит в среднем для РФ по состоянию на 2017 год, если погибший имел семью с учетом морального ущерба 37 390 000 руб., без семьи – 27 490 000 руб.; по состоянию на 2018 год – 46 900 000 руб. и 34 480 000 руб. соответственно.

$$C_{ущ} = N_{ТСпов} \cdot \left( \sum_{k=1}^w \sum_{l=1}^z \delta_k \cdot \gamma_l \cdot C_{kl} + \varphi \cdot \sum_{q=1}^x \lambda_q \cdot C_q \right)$$

$$C_{ущ} = 10 \cdot (27000 \cdot 0,02 + 9043 \cdot 0,25 + 346000 \cdot 0,15 + 210000 \cdot 1 + 280000 \cdot 0,5 + 407200 \cdot 0,25 + 7800 \cdot 1 + 100000 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot (150000 \cdot 0,8 + 200000 \cdot 1 + 0 \cdot 0,1)) = 7\,243\,007,5 \text{ руб.}$$

Количество поврежденных в ДТП САП:  $N_{ТСпов} = 10$

Число видов поврежденных ТС:  $w=1$

Доля поврежденных ТС  $k$ -го вида в общем количестве поврежденных ТС  $\delta_k = 1$

Ущерб от ДТП владельца одного поврежденного ТС  $k$ -го вида по составляющим –  $C_{kl}$  включает в себя следующее:

стоимость работ по спасению ТС:  $C_1 = 27000$ ,

стоимость работ по эвакуации ТС:  $C_2 = 9043$

величину ущерба от повреждения ТС (остаточная и утилизационная стоимости):  $C_3 = 346000$

стоимость работ по восстановлению (ремонту) поврежденных ТС:

$$C_4 = 210000$$

величину дополнительной утраты товарной стоимости:  $C_5 = 280000$  ,  
судебные издержки:  $C_6 = 407200$ ,

затраты времени связанные с расследованием ДТП и возмещением убытков:  
 $C_7 = 7800$ ,

невостребованную часть страхового возмещения за ТС:  $C_8 = 100000$  ,  
Отношение количества ДТП, в которых производится расчет по каждой составляющей ущерба к общему количеству ДТП:  $\gamma_1 = 0,02$ ,  $\gamma_2 = 0,25$ ,  $\gamma_3 = 0,15$ ,  
 $\gamma_4 = 1$ ,  $\gamma_5 = 0,5$ ,  $\gamma_6 = 0,25$ ,  $\gamma_7 = 1$ ,  $\gamma_8 = 0,5$

Доля ТС перевозящих груз в общем количестве поврежденных ТС в рассматриваемом случае составляет 50 %:  $\varphi=0,5$

Число видов составляющих потерь груза от ДТП:  $x=3$

Ущерб владельца груза и перевозчиков по  $q$ -ой составляющей в одном ДТП в случае повреждения груза, включающий в себя:  $C_{q1}$  – стоимость ущерба вследствие срыва договорных обязательств по перевозке пассажиров и грузов,  $\lambda_{q1}$  – величину ущерба вследствие срыва договорных обязательств по перевозке пассажиров и грузов,  $C_{q2}$  – стоимость ущерба из-за повреждения груза или уничтожения груза,  $\lambda_{q2}$  – величину ущерба из-за повреждения груза или уничтожения груза,  $C_{q3}$  – стоимость невостребованной части страхового возмещения за груз,  $\lambda_{q3}$  – величину невостребованной части страхового возмещения за груз.