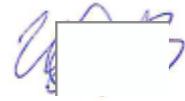


На правах рукописи



ЩЕРБАКОВА ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА

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

Специальность: 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Евтюков Сергей Аркадьевич

Официальные оппоненты: **Дыгало Владислав Геннадиевич,**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», кафедра
«Техническая эксплуатации и ремонта
автомобилей», профессор;

Абрамов Александр Михайлович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Новгородский государственный
университет имени Ярослава Мудрого»,
кафедра «Технологии машиностроения»,
заведующий секцией;

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
горный университет»

Защита диссертации состоится «26» февраля 2019 г. в 13⁰⁰ часов. На заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190103, Санкт-Петербург, Курляндская ул., д. 2/5, аудитория 340-К.

Тел./Факс: (812) 316-58-72,
E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/shcherbakova-olga-vladimirovna>.

Автореферат разослан «24» января 2019 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета, Д 212.223.02

кандидат технических наук, доцент



Олещенко Елена Михайловна

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Совершенствование обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) актуальная задача в Российской Федерации (РФ), как и задача предупреждения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых участвуют седельные автопоезда (САП). Такие САП представляют собой особый класс шарнирно-сочленённых автотранспортных средств (АТС), перевозящих различные виды грузов. 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 тяжких последствий: гибелью, травмированием людей и материальным ущербом.

Наиболее сложным видом ДТП с участием САП являются происшествия, в результате их торможения с выходом из занимаемой полосы, вплоть до складывания. Для исключения этого фактора, необходимы знания, как того требует ст. 2 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 26.12.1995 № 196-ФЗ – о полном множестве причин, вызывающих бортовую несимметрию действия тормозных сил, которая служит причиной 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 на стендах, а также оценку 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 тормозных стендах, исключая влияние на точность оценки эффективности тормозных систем человеческого фактора. Пневматические тормозные системы АТС при стендовом контроле представляются «чёрным ящиком». В нём 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 объёмные утечки сжатого воздуха. Несовершенство методических и технических средств предупреждения ДТП, в режиме торможения САП диктуют необходимость решения задачи исследования влияния внутрисистемных факторов технического состояния и рабочих процессов в рабочей тормозной системе (РТС) САП на возникновение тяжких ДТП.

Поиск решения указанной задачи предупреждения ДТП, в режиме торможения остаётся актуальным направлением науки и практики обеспечения БДД с участием САП. Не доведены до практического приложения исследования влияния таких факторов, как скорость ТС в начале торможения, несимметрия при размещении грузов в полуприцепах относительно их продольных осей, состояние контакта и сцепления колес с дорожной поверхностью, техническое состояние функциональных элементов пневматических тормозных систем и его влияние 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, значения параметров блокировки колес, так же влияющих на сдвиг указываемых максимумов по бортам САП, их разницу и др.

Множество факторов, влияющих на процесс торможения САП и проблемы организации трудоемких дорожных и стендовых исследований, делает целесообразным выполнение исследований механизма влияния ранее не доступных для оценки параметров рабочих процессов (ПРП) функционирования пневматических приводов РТС САП – с целью разработки (обоснования) соответствующего методического и технического обеспечения задач стендового диагностирования пневматических тормозных систем САП.

Потребность в разработке новых знаний, необходимых для решения указанных задач, подтверждается внедрением в мировую практику инструментов дистанционного мониторинга ПРП функционирования тормозных систем в режимах торможения САП, количественной оценкой этих параметров, их накопления, прогнозирования и т.д. То есть определяют потребность в накоплении знаний, статистической оценке ПРП 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 АТС 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 Н.Г. 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 исследовались А.М. Абрамовым, Б.Е. Боровским, В.Г. Григорьяном, В.Н. Добромировым, С.А. Евтюковым, В.А. Илларионовым, В.А. Корчагиным, П.А. Кравченко, В.И. Новиковым, В.А. Пучкиным, Ю.Б. Суворовым.

Ранее, при рассмотрении перечисленных выше факторов для проведения расчетов принималась велосипедная модель действующих сил, не требующая определения тормозных сил по бортам. При этом тормозные силы, прилагаемых тормозными механизмами правого и левого колес оси, сводились к равнодействующей, а их векторная сумма определяла направление действия момента складывания САП.

Таким образом, анализ работ, выполненных перечисленными учеными показал, что вопросы исследования торможения РТС АТС ранее рассматривались, но в их исследованиях не получили дальнейшего развития до уровня, способного обеспечить предупреждение причин складывания САП.

Цель и задачи исследования.

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

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются 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 ПРП торможения РТС САП для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам САП на механизм складывания САП;

5. Обосновать средства 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 его свойств, как совокупность решения перечисленных частных задач.

Объектом исследования является методическое обеспечение технологии предупреждения ДТП с участием 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 ПРП пневмопривода РТС и оценка влияния несимметрии тормозных сил по бортам на механизм складывания САП;

5. Обоснованы средства технического обеспечения исследуемой задачи;

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

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 тормозной системе 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 диссертационного 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.

Реализация результатов исследований. Результаты исследования применяются в ООО «Центр контроля технического состояния транспортных

средств» и Центром «АвтоЭксперт» для обеспечения стендового контроля технического состояния пневмоприводов тормозных механизмов САП.

Результаты диссертационной работы внедрены 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 специальности – Судебная автотехническая экспертиза), в экспертной деятельности ИБДД при реконструкции и экспертизе ДТП, а также используется в учебном процессе при подготовке студентов по направлениям 23.02.01, 23.04.01 Технология транспортных процессов, профиль подготовки «Организация и безопасность движения», 23.03.03, 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, профиль подготовки «Эксплуатация автотранспортных средств, дорожных и строительных машин».

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,

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-я 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.

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

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы его цель и задачи, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы, изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ аварийности на дорогах РФ в и мире, обоснован выбор типа автопоезда для исследования его тормозных свойств. Проанализированы показатели эффективности действия РТС САП, существу-

ющие методы и средства контроля технического состояния РТС САП. Проведен обзор и анализ приводов тормозных систем.

Во второй главе проведены теоретические исследования: рассмотрены математические модели движения ТС, определена расчетная модель исследования процесса экстренного торможения САП, установлены факторы, вызывающие несимметрию тормозных сил по бортам САП, влияющую на механизм их складывания, обоснован механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы возникновения ДТП, обоснован выбор тормозного стенда для проведения экспериментальных исследований.

В третьей главе представлено экспериментальное исследование изменения ПРП в пневмоприводе РТС САП в зависимости от их технического состояния (утечек рабочего тела). Сформулированы методические рекомендации для стендового диагностирования пневмоприводов РТС САП с применением радиодатчиков давления. Определены границы диапазонов диагностических параметров. Исследовано влияние разницы во времени приложения тормозных сил на процесс складывания САП. Оценка результатов экспериментальных и теоретических исследований подтверждается удовлетворительной сходимостью и достоверностью.

В четвертой главе представлено практическое применение предложенной методики при диагностировании САП автопредприятия «Миларин». При диагностировании на тормозном стенде 22 САП получили удовлетворительные результаты по ГОСТ 33997–2016. Однако применение новой методики и использование радиодатчиков давления указало на необходимость проведения у двух САП регулировочных работ. Один САП был направлен в ремонт, т.к. при диагностировании РТС был выявлен зарождающийся дефект – утечка воздуха.

В заключении изложены результаты диссертационного исследования и определены направления продолжения научной работы.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Расчетная схема сил, действующих на САП при его торможении и 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.

Поскольку силы, вызывающие складывание САП с исправной тормозной системой при торможении на сухом асфальтобетонном покрытии, вызваны несимметрией действия тормозных сил 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 складывающих моментов. Расчетная схема сил при торможении САП известна. Она позволяет учесть несимметрию тормозных сил по бортам. Поэтому данная схема использована для исследования процесса складывания. Для методических целей на ее основе определена плоская модель (рисунок 1), обладающая достаточной и необходимой информацией о механизме сил, действующих на САП.

Рассмотрены исходные теоретические положения о работе пневмопривода РТС САП. Входная координата x_1 может быть связана с координатой x_2 – перемещения штока, уравнением кинематической связи:

$$x_2 = k_1 \cdot x_1 \quad (1),$$

Тогда уравнение равновесия сил на седле клапана примет вид:

$$P_1 = P_2 \text{ или } (x_2 - e) \cdot c_2 = c_3 e + \Delta p \cdot f_d \quad (2),$$

где: Δp – перепад давлений на отверстиях впускного клапана; f_d – активная площадь диафрагмы; P_1, P_2 – силы равновесия на седле клапана; k_1 – коэффициент пропорциональности.

Из зависимости 2 следует, что смещение клапана пневмоусилителя наступит после того, как будет преодолено сопротивление диафрагмы, которое создает силу противодействующую 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 (3) и допущении, что координата смещения седла клапана e принадлежит и клапану, имеет вид:

$$kRT_\kappa G_\kappa = V \frac{dp}{dt} + kp \frac{dV}{dt} \quad (3),$$

при $V = F_4 \cdot \dot{x}^3$;

где: k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная, Дж/кг·К; T_κ – температура воздуха в тормозном контуре, К; V – объем воздуха, м³; p – давление воздуха в тормозной камере, МПа; G_κ – весовой расход воздуха в тормозном контуре кгс/с; F_4 – площадь поршня, м²; \dot{x}_3 – скоростью перемещения штока диафрагмы, м/с; $\Delta \dot{x}_3$ – изменение скорости перемещения штока диафрагмы по времени, м/с.

Расход воздуха из ограниченного объема определяется зависимостью К.Л. Навроцкого:

$$G_\kappa = K \varepsilon f_{\text{вх}} \frac{P_\kappa}{\sqrt{RT_\kappa}} \gamma(\sigma) \quad (4),$$

при
$$\gamma(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{\kappa}} - \sigma^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}} \quad (5),$$

$$K = \sqrt{\frac{2gk}{k-1}} = 8,283 \frac{M^{1/2}}{c} \quad (6),$$

$$\sigma = \frac{P}{P_\kappa} \quad (7),$$

где: G – весовой расход воздуха кгс/с; K – коэффициент усиления; ε – коэффициент расхода воздуха; $f_{\text{вх}}$ – эффективная площадь входного отверстия, м²; γ – функция расхода сжатого воздуха; P_κ – давление в тормозном контуре РТС САП, МПа; p – текущее давление в рабочей полости тормозной камеры колеса САП, МПа; σ – отношение текущего давления в рабочей полости тормозной камеры к давлению в тормозном контуре пневмопривода РТС i -го колеса САП; g – ускорение свободного падения, м/с².

G_κ зависит от скорости потока воздуха и определяется перепадом давления на входном отверстии в тормозную камеру (рисунок 1 в);

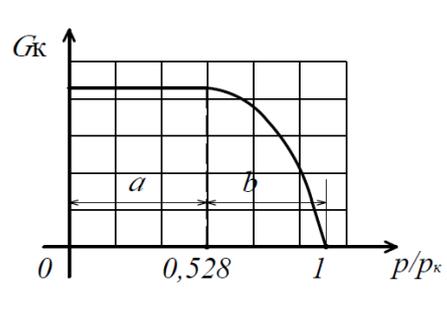
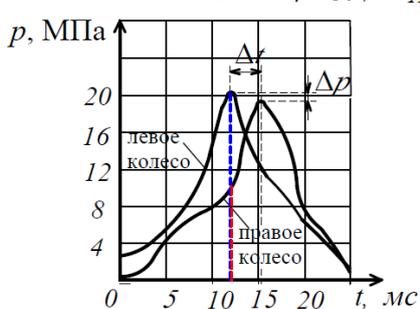
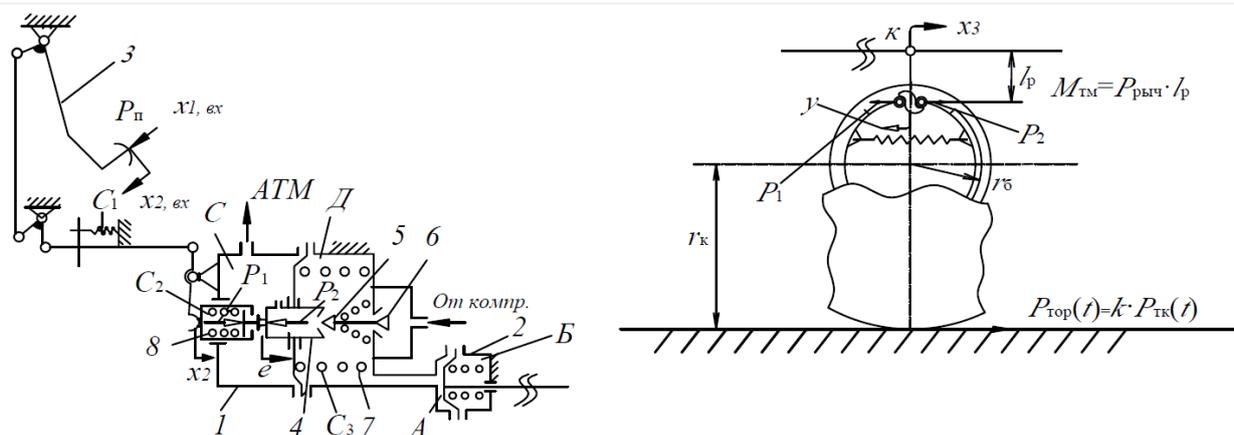
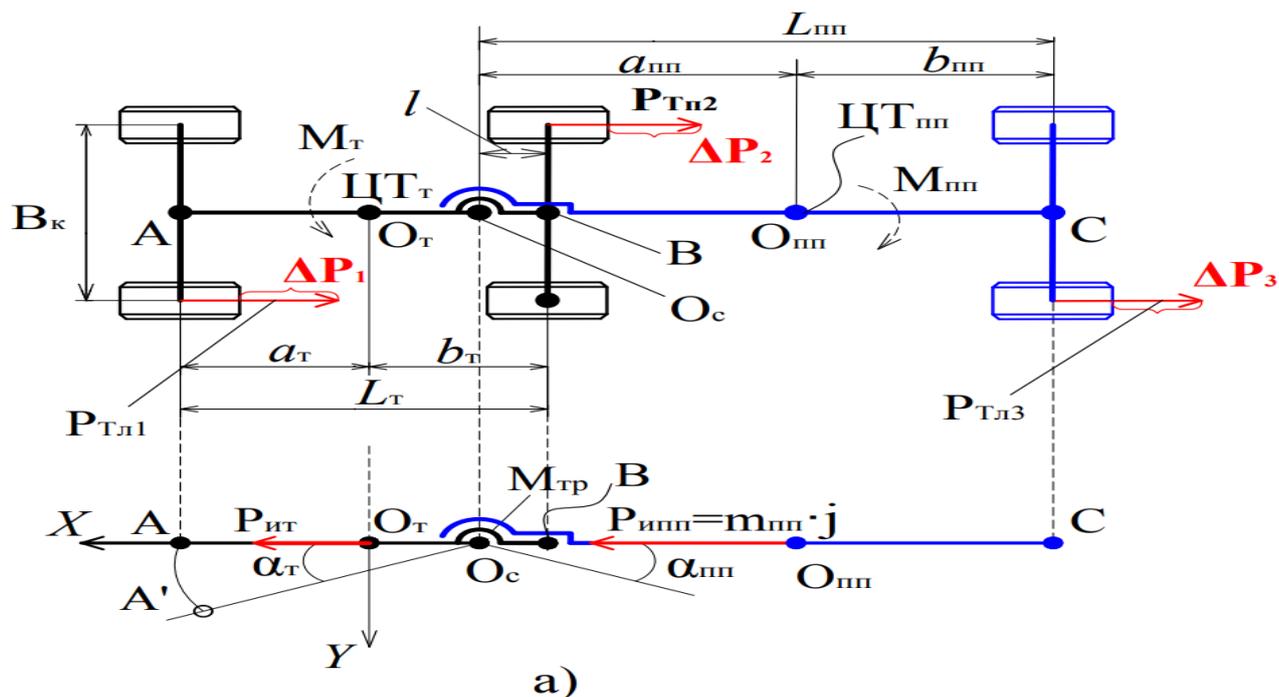


Рисунок 1 – Модель сил, действующих на САП при торможении

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_{III} – 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; $P_{итIII} = m_{III} \cdot j$ – сила инерции полуприцепа; m_{III} – масса полуприцепа; $P_{рыч}$ – силы на рычаге разжимного кулака; l_p – длина рычага разжимного кулака; j – замедление; ЦТ_T –

центр тяжести тягача; ЦТ_{пп} центр тяжести полуприцепа; О_с точка складывания автопоезда; О_т – точка центра тяжести тягача; О_{пп} – точка центра тяжести полуприцепа; α_т – угол складывания тягача; α_{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; В_к – колея тягача; P_{Тл_i} – тормозная сила левого колеса *i*-ой оси САП; P_{Тп_i} – тормозная сила правого колеса *i*-ой оси САП; L_{пп} – база полуприцепа; a_т и b_т – координаты центра тяжести полуприцепа; a_{пп} и b_{пп} – координаты центра тяжести полуприцепа; L_т – колесная база тягача; X – продольная ось; Y – поперечная ось; P_{пп} – 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; c₁ – жесткость возвратной пружины; c₁, c₂ – жесткости пружин штока и диафрагмы; X₁ входная координата перемещения педали тормоза; X₂ – координата перемещения штока; X₃ – положение штока диафрагмы.

при перепаде давления, равном нулю $p/p_k=1$ при открытом клапане б (рисунок 1 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 $0,528p_k$ – такой режим течения потока воздуха называется подкритический (зона б на рисунке 1 в). От этого давления и ниже, скорость потока воздуха через клапан б превышает скорость звука и G_к прекращает расти – такой режим течения потока воздуха называется надкритический (зона а на рисунке 1 в).

При выводе выше рассматриваемой системы из равновесия, выполнив линеаризацию уравнения (3), процесс в приращениях его переменных координат описан следующими уравнениями К.Л. Навроцкого:

$$\Delta G_k = k_G \Delta e - k_{Gp} \Delta p \quad (8),$$

$$k_G \Delta e - k_{Gp} \Delta p = \frac{F_4 x_3}{kRT_k} \cdot \Delta \dot{p} + \frac{pF_4}{RT_k} \cdot \Delta \dot{x}_3 \quad (9),$$

$$Q = F_1 \Delta \dot{x}_3 = k_G \frac{RT_k}{P_{ycm}} \Delta e - k_{Gp} \frac{RT_k}{p_{ycm}} \Delta p - \frac{F_4 x_{3,ycm}}{kp_{ycm}} \cdot \Delta \dot{p} \quad (10),$$

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

где: ΔG_к – 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,ycm} – установившееся значение положения штока диафрагмы, м; Δe – разница положения седла клапана при торможении, м; p_{ycm} – установившееся значение действия давления сжатого воздуха на поршень, МПа.

Решив уравнение 9 относительно перепада давления на диафрагме:

$$\Delta p_i = \frac{k}{x_{i-1}} \left(\frac{f_{6x} K p_k \sqrt{RT_k}}{F_4} \gamma(\sigma_i) - \frac{kp_i}{x_3} \cdot \Delta \dot{x}_3 \right) \Delta t_i \quad (11),$$

где: σ_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; Δt_i – величина шага интегрирования.

Равновесие разжимных сил на штоке в точке k (рисунок 1), при допущении, что трение и инерция разжимного кулака будут опущены, определено уравнением:

$$\Delta pF = (P_{1r} + P_{2r}) \frac{d}{2a}. \quad (12),$$

где: P_{1r}, P_{2r} – 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. Связь между \dot{x}_3 и скоростью движения верхнего конца диафрагмы \dot{y} осуществляется по зависимости:

$$\frac{Q}{F} = \dot{x}_3 = k_2 \dot{y} \quad (13),$$

где: k_2 – коэффициент пропорциональности, определяемый длиной рычага разжимного кулака и его профилем; \dot{y} – скорость перемещения верхнего конца колодки.

В результате проведенного анализа математической модели сил, представленной на рисунке 1, описывающей процесс взаимодействия элементов в тормозном приводе зависимостями с 1–13 определены факторы, способные вызвать несимметрию тормозных сил по бортам САП – утечки сжатого воздуха из элементов пневмопривода, время нарастания давления сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвигов этих максимумов по времени для ТМ разных колес, длина трубопроводов, давление и время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода РТС при внешних утечках, которые позволят обосновать механизм формирования тормозных сил по бортам САП и осуществить оценку ранее не учитываемых ПРП пневмоприводов РТС САП.

2. Обосновать механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учитывающий «опасные» факторы в их складывании с помощью экспериментальных исследований параметров процесса складывания САП для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам САП на механизм складывания САП.

Натурный эксперимент проведен в соответствии с планом (рисунок 2). Тягач Scania R 114 LA 4x2 и полуприцеп Cargobull Schmitz SPR 24 исследован на тормозном роликовом стенде IW 7 Eurosystem. Техническое состояние его РТС было признано удовлетворительным. Утечек рабочего тела из пневмопривода не обнаружено. Транспортное средство было признано пригодным для проведения экспериментальных исследований. Для имитации утечек воздуха на САП, участвующем в дорожном движении, принято решение не вмешиваться в конструкцию его РТС, а собрать внешнее имитационно-контрольное устройство.

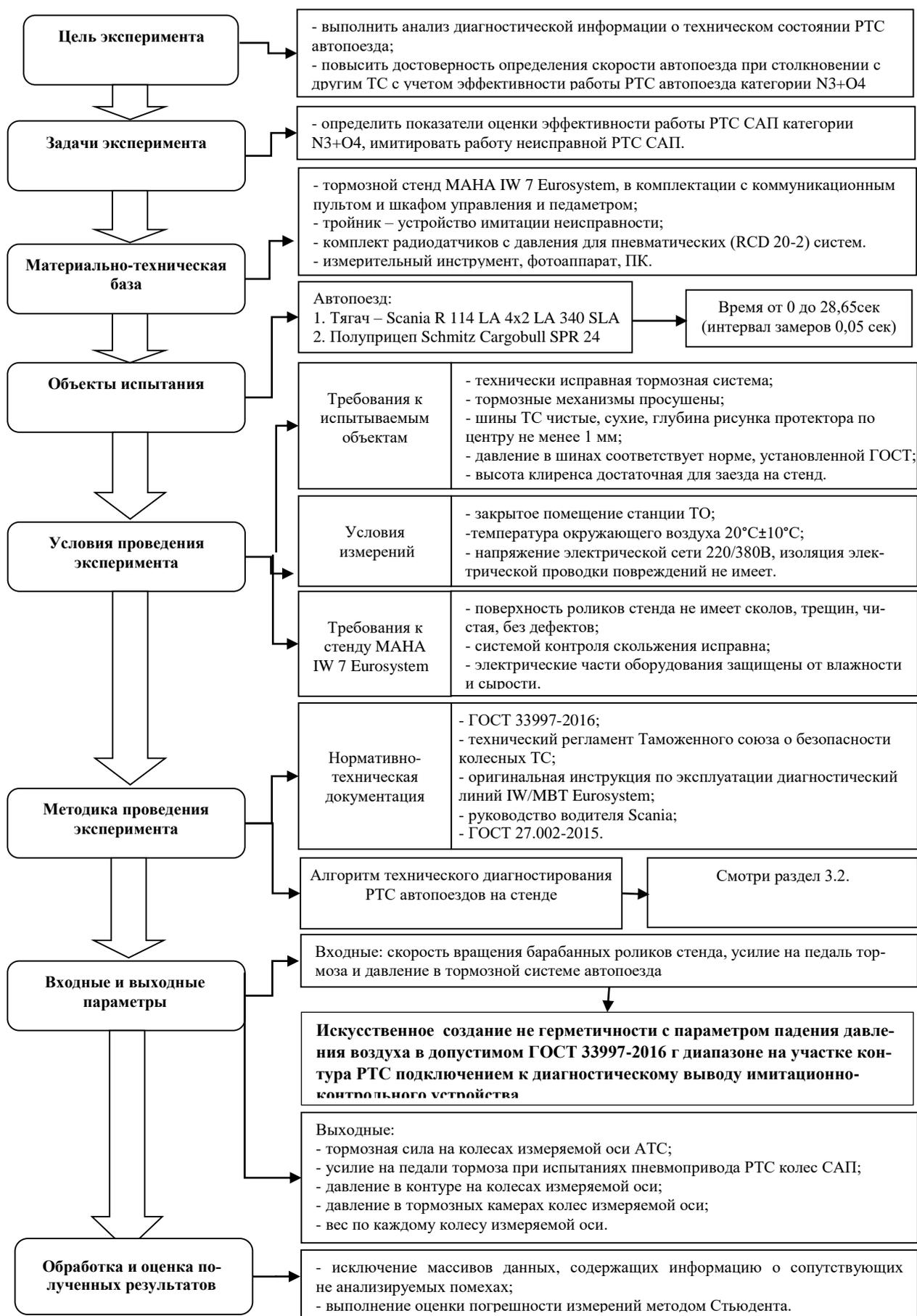


Рисунок 2 – План организации экспериментального исследования

Оно состоит из тройника с подключенными к нему датчиком давления с радиочастотным каналом передачи данных на АИВК комплекса и шаровым краном для изменения калиброванного отверстия, имитирующего утечку воздуха. Подключением к диагностическому выводу имитационно-контрольного устройства искусственно была создана не герметичность на участке контура РТС. На основании полученных экспериментальных данных построены графики ПРП эффективности действия РТС (рисунки 3–6). 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 $P_{Т1л}=19,77$ кН, правого $P_{Т1п}=18,76$ кН без сдвигов во времени, при имитации неисправности $P_{Т1л}=18,19$ кН и $P_{Т1п}=15,54$ кН и сдвиг во времени составил 1,2 сек., для второй оси тягача $P_{Т2л}=11,12$ кН, $P_{Т2п}=11,63$ кН без сдвигов во времени, при имитации неисправности $P_{Т2л}=8,83$ кН, $P_{Т2п}=10,59$ кН – 1,3 сек, для осей полуприцепа левого борта $P_{Т3л}=12,48$ кН и правого борта $P_{Т3п}=12,30$ кН без сдвигов во времени срабатывания, при имитации неисправности левого борта $P_{Т3л}=11,37$ кН и правого борта $P_{Т3п}=13,05$ кН сдвиг во времени составил 0,85 сек, разница максимумов P_T по колесам осей САП составила 12–17%.

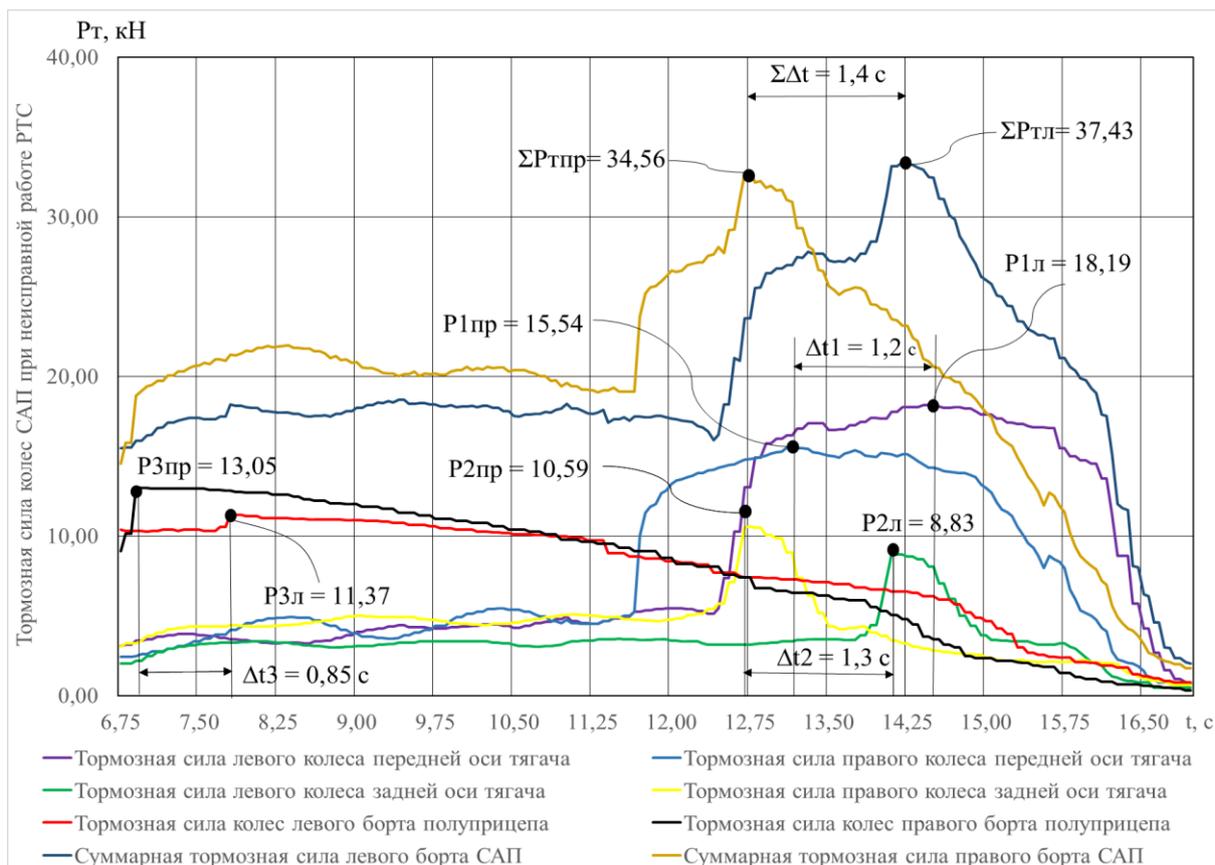


Рисунок 3 – Осциллограмма зависимости тормозных сил на колесах САП от времени при торможении неисправной РТС

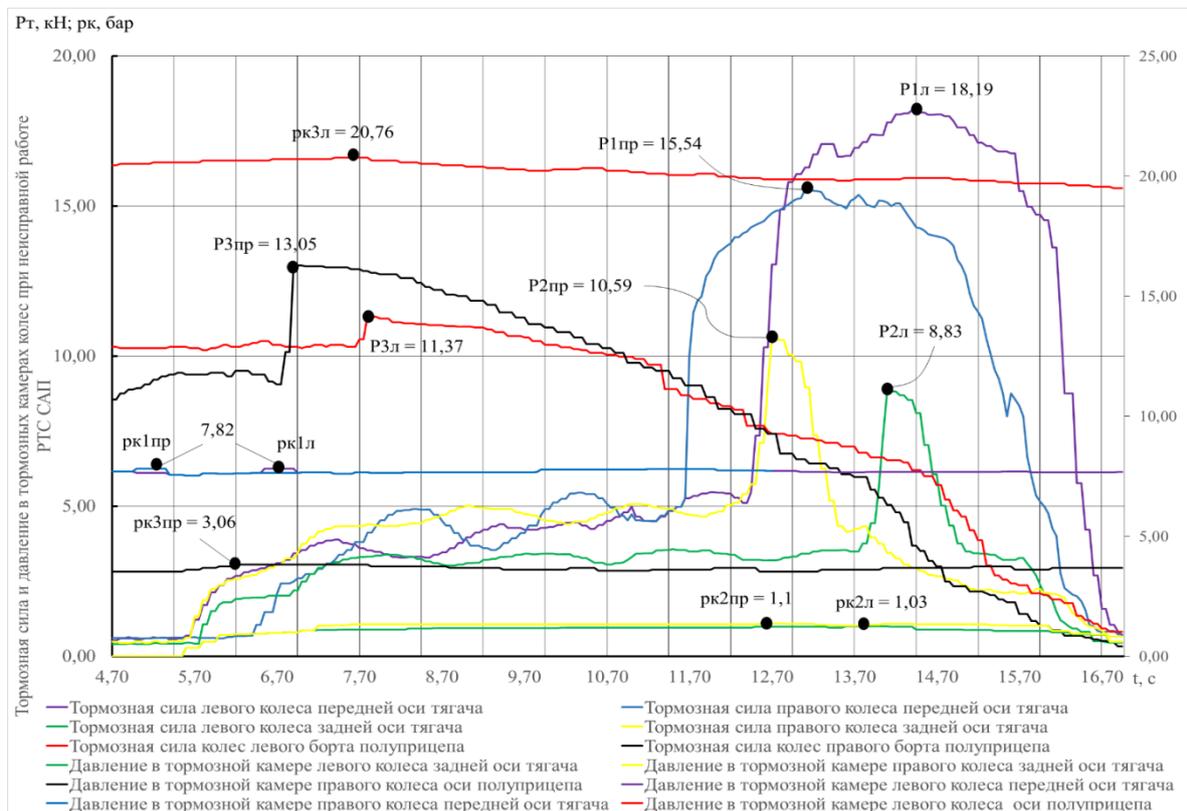


Рисунок 4 – Осциллограмма зависимости тормозных сил и давления в тормозных камерах колес от времени при торможении неисправной РТС САП

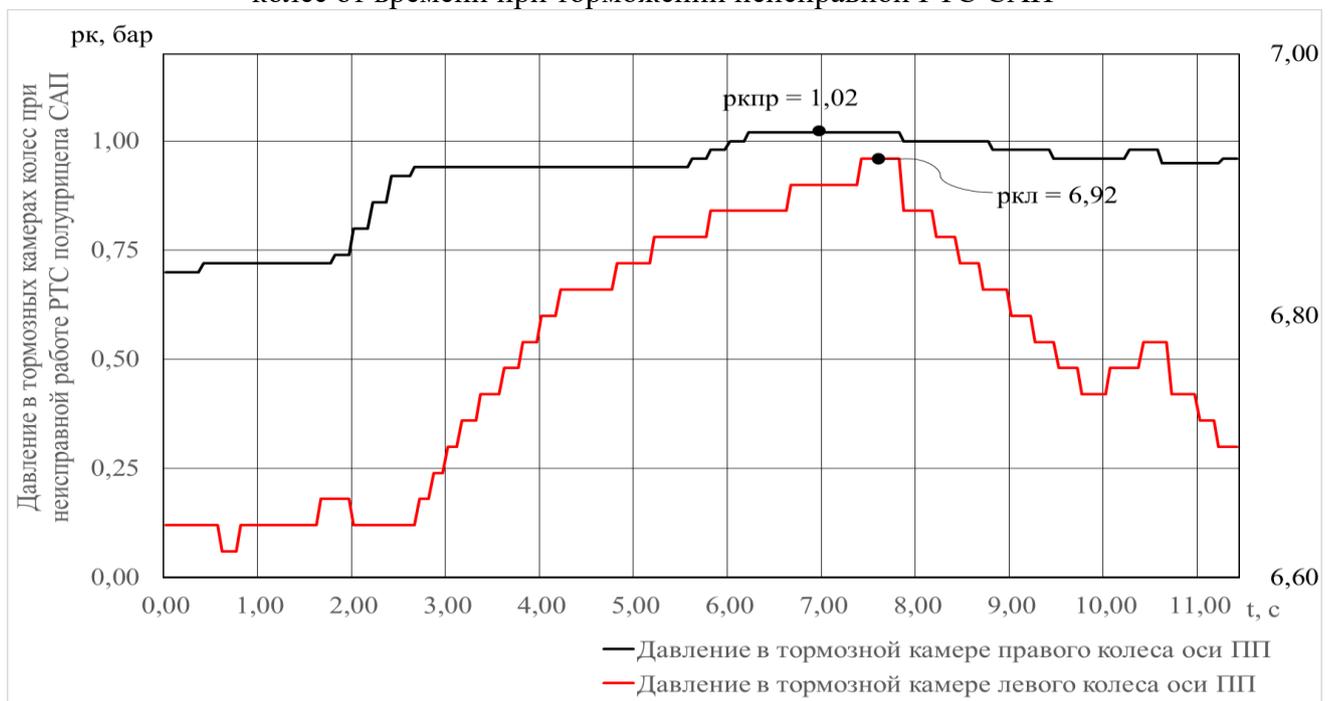


Рисунок 5 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес полуприцепа САП от времени при торможении неисправной РТС САП

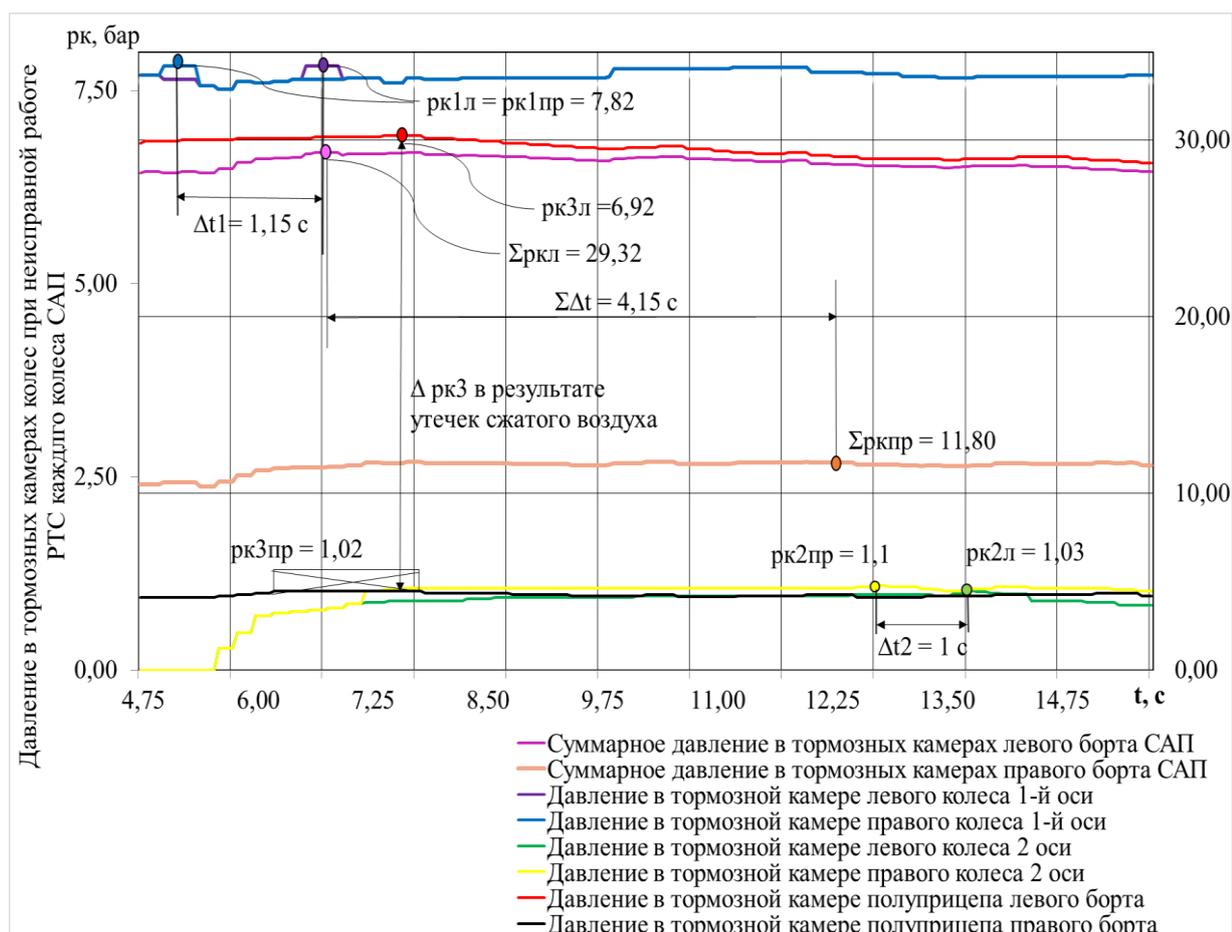


Рисунок 6 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес САП от времени при торможении неисправной РТС

Сравнение графиков давлений в тормозных камерах с графиками тормозных сил колес 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 отличаются лишь на 7,67%. Однако, в соответствии с требованиями ГОСТ 33997–2016, несимметрия тормозных сил по бортам менее 25% соответствуют, допустимому к эксплуатации техническому состоянию.

Таким образом, при имитации утечек сжатого воздуха из пневмопривода РТС САП экспериментально зафиксированы несимметрия тормозных сил и сдвиг 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 к увеличению тормозного пути и времени замедления всего САП в целом.

3. Структура средств технического обеспечения исследуемой задачи

Состав средств технического обеспечения исследуемой задачи состоит из диагностической линии «МАНА» с радиодатчиками давления сжатого воздуха и тройника с краном для имитации утечек воздуха в пневмоприводе РТС САП.

Для эксперимента в нашем диссертационном исследовании были проанализированы характеристики стендов фирмы «МАНА», «ГАРО», «МЕТА» и прибора для дорожных испытаний ЭФФЕКТ-2. В результате сравнения технических возможностей, опций и программного обеспечения, для проведения экспериментального исследования был выбран на тормозной стенд «МАНА» IW 7 Eurosystem, так как он обладает большей дискретностью сигналов регистрации ПРП и оснащен опцией – комплектом пневматических радиодатчиков давления, позволяющими оценивать функцию изменяющегося во времени давления в каждом участке контуров РТС САП (рисунки 7 и 8), и получить показатели, необходимые для решения задачи диссертационного исследования – такие как усилия на органе управления, тормозную силу, давление в тормозных контурах и тормозных камерах, нагрузку и все это выполнялось для каждого колеса измеряемой оси АТС, т. е. в одном торможении фиксировалось изменение динамики рабочих процессов тормозного привода каждого отдельного колеса, измерение всех перечисленных показателей осуществлялось во времени.

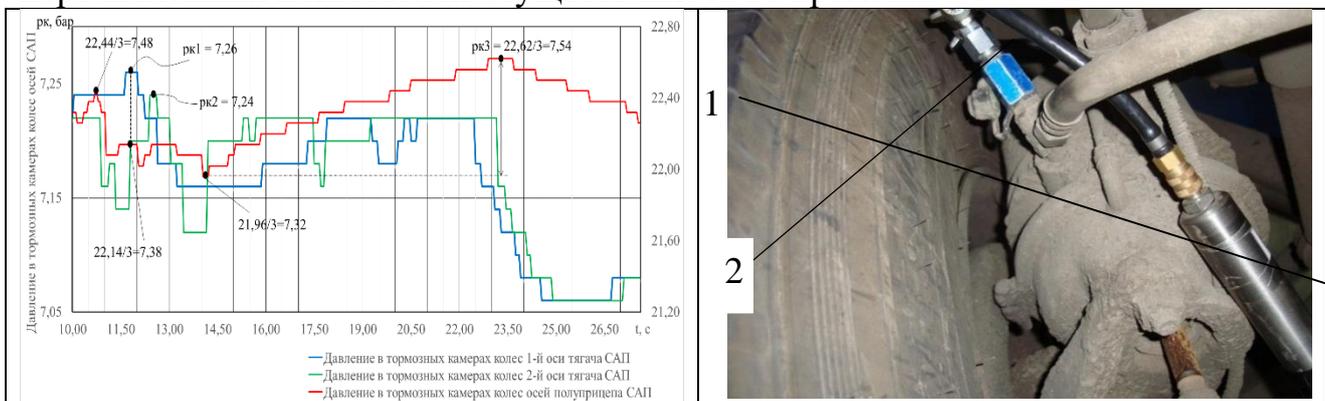


Рисунок 7 – Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес САП от времени при торможении исправной РТС САП



Рисунок 8 – Пневматический радиодатчик давления, подключенный к диагностическому выводу через тройник с краном, имитирующим утечку воздуха из РТС

где: 1 – тормозная камера колеса САП с пневматическим радио-датчиком давления; 2 – тройник с краном, имитирующим утечку воздуха из РТС.

По осциллограммам (рисунок 7) устанавливается очередность срабатывания осей САП при торможении: первыми срабатывают оси полуприцепа, затем оси тягача, что исключает его складывание САП и способствует повышению устойчивости. Величина значений давления в тормозных камерах колес САП и последовательность срабатывания тормозных механизмов колес осей свидетельствуют о нормативных значениях ДП пневмопривода РТС САП.

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

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

$$f_y dt = \frac{V_1 dp_i}{k\gamma \left(\frac{p_a}{p_i}\right) K \sqrt{RT_1 p_i}} \quad (14),$$

где: l_k – длина тормозного контура пневмопривода РТС САП, м; Δt_i – величина шага интегрирования; p_a – атмосферное давление, МПа, d – диаметр проходного отверстия трубопровода, м; T_1 – температура воздуха в тормозной камере, К; при: $V = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot l_k$ и $l_k = \frac{4V}{\pi \cdot d_1^2}$.

С учетом зависимости (14) перепад давления в рабочей полости тормозной камеры колеса при внешних утечках предлагается определять:

$$\dot{p}_i = \frac{k}{x_0 + x_1} \left(\frac{f_{ex} K \sqrt{RT_k}}{F} \left[p_k \gamma \left(\frac{p_i}{p_k} \right) - p_{i-1} \frac{f_y}{f_{ex}} \sqrt{\frac{T_1}{T_k}} \gamma \left(\frac{p_a}{p_i} \right) \right] - p_{i-1} \cdot \dot{x}_{i-1} \right) \cdot \Delta t_i \quad (15),$$

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

Проинтегрировав уравнение (14) по времени предлагается определять время наполнения рабочей полости тормозной камеры при внешних утечках:

$$t = \frac{V}{k f_{ex} K \sqrt{RT_1}} \int_{\sigma_i'}^{\sigma_i''} \frac{d\sigma}{p_k \gamma(\sigma) - \sigma \frac{f_y}{f_{ex}} \sqrt{\frac{T_1}{T_k}} \gamma \left(\frac{p_a}{p_i} \right)} \quad (16),$$

где: p_i' , p_i'' – начальное и конечное значения давления в рабочей полости тормозной камеры i –го колеса при торможении, МПа; σ_i' , σ_i'' – отношения начального и конечного значения давления.

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

Согласно ГОСТ 33997–2016 рассчитывается удельная тормозная сила отдельно для тягача и полуприцепа и относительная разность тормозных сил на колесах САП для каждой оси АТС, что не позволяет дать объективную оценку допустимого технического состояния пневмопривода каждого колеса.

Предлагаемая методика расчета ПРП пневмопривода позволяет выполнить расчет ПРП 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.

Таким образом, расчет и оценка ранее не учитывавшихся ПРП и обоснование механизма формирования тормозных сил по бортам позволяет предупредить причины ДТП, связанные с техническим состоянием РТС САП.

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

Экспериментальные исследования параметров процесса складывания САП для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам САП на механизм складывания САП проведены согласно разработанной методики (рисунок 9).

Стендовый контроль необходимо проводить ежегодно, а также по результатам выполнения каждого технического осмотра автопоезда

с периодичностью 15 тыс. км пробега. Данные проведения диагностирования на диагностическом 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 даются диагностом, если требуются технического воздействия на автопоезд.

Далее необходимо рассмотреть два случая:

1. ТС работоспособно и может быть продиагностировано на силовом роликовом стенде в соответствии с последовательностью по пунктам 1–4.8, [4];

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 (регулирующих, 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 разработанному алгоритму, [4].

Порядок оценки результатов диагностирования технического состояния тормозных систем ТС по результатам стендовых испытаний

Границы диапазонов ДП необходимо устанавливать в соответствии с технической документацией на конкретную модель ТС.

В случае, если значения параметра рабочего процесса датчика P_m превышает для испытуемого АТС верхнюю границу номинального диапазона, то перед проведением контрольно-диагностических работ необходимо устранить неисправность в ограничителе давления пневматического привода.

В результате эксперимента получены сводные графики рабочих процессов, которые для различного технического состояния привода РТС в режиме реального времени характеризует соответствие диагностическим параметрам конкретного диапазона на проверяемом участке.

Это позволяет:

- дать общую характеристику технического состояния пневматического привода 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.

Эта методика, позволяет достоверно локализовать неисправность характеризовать степень развития дефектов пневматического привода РТС САП.

Методика является универсальной для автомобилей и тягачей с полуприцепами (прицепами), оборудованных пневматическим приводом РТС, независимо от того, оборудованы ли указанные АТС электронными системами безопасности

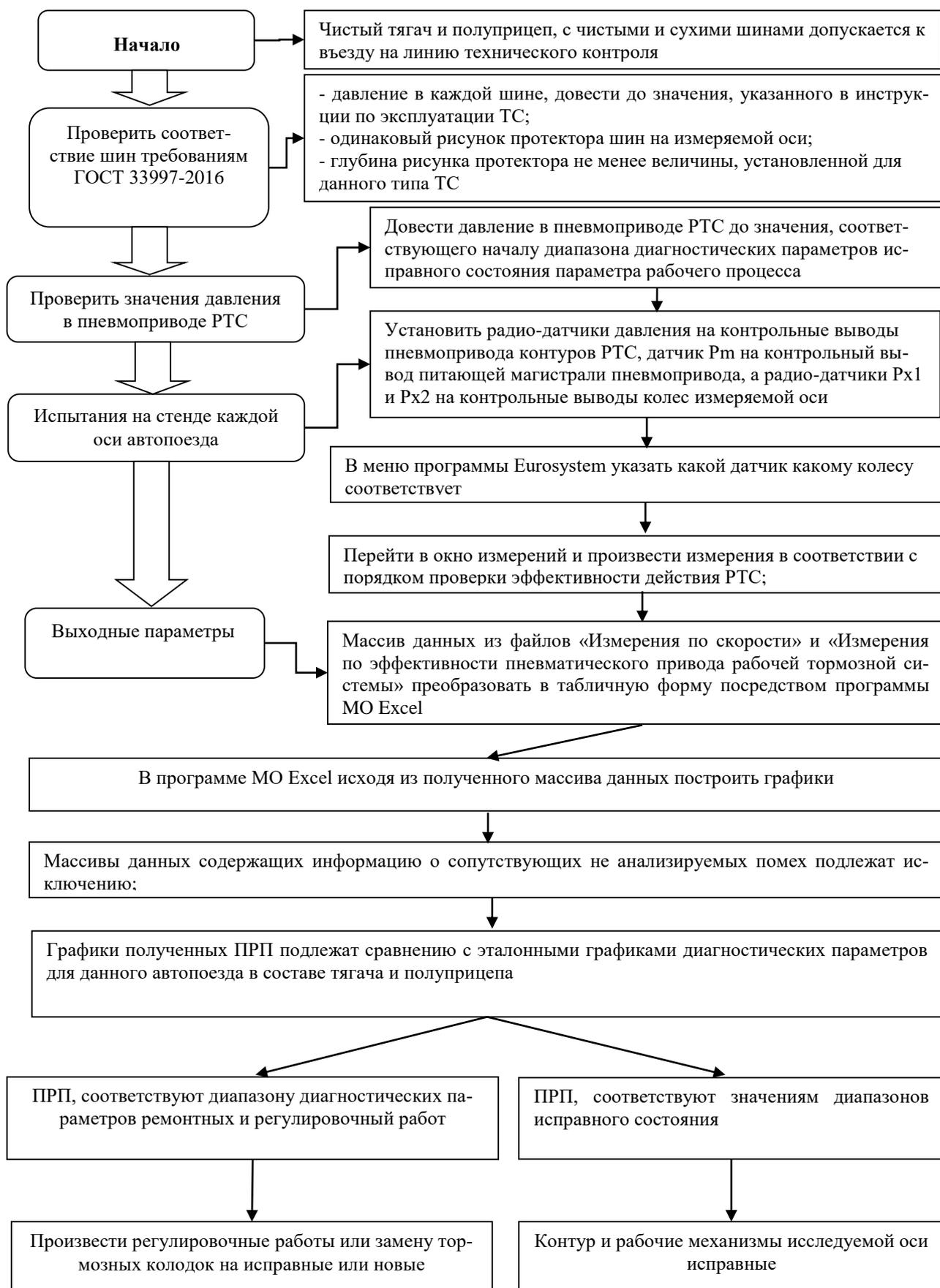


Рисунок 9 – Алгоритм технического диагностирования РТС САП на силовом роликовом тормозном стенде IW 7 Eurosystem

III. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Локализация зоны максимально допустимого диагностического параметра и регулировка РТС САП

На 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. Этот параметр является предельно допустимым, однако, при увеличении частоты вращения коленчатого вала до максимального значения, значение P_m будет хотя бы кратковременно превышать $P_m \max$ допустимое равное 0,81 МПа и это предпосылка к возникновению неисправности – разгерметизации трубопроводов РТС. Таким образом, определена необходимость и дана рекомендация выполнения регулировочных работ регулятора давления воздуха.

В процессе исследования установлено, что при значениях p в тормозных камерах одной оси близких к минимально допустимым, но не значительно отличающихся друг от друга, время достижения максимального значения давления различно. Это приводит к появлению момента увода или складыванию ТС.

Поэтому определен диапазон допустимых значений диагностического параметра для нижней границы значений давления и определена допустимая разность давлений Δp_i в тормозных камерах исследуемой оси.

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

По защищаемой методике исследовано 22 однотипных САП. В таблице 1 представлены результаты, исследованных ПРП пневмопривода САП: утечек сжатого воздуха в пневмоприводе, перепада давлений, время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем при внешних утечках с учетом текущего технического состояния ТС.

Пример определения технического состояния пневмопривода РТС САП на участках для каждой оси:

- тормозные камеры на колесах первой оси тягача имеют незначительную f_y , однако перепад давлений Δp_i при наполнении рабочих полостей тормозных камер избыточен и параметр давления в тормозных камерах находится в диапазоне отказов, т.е. необходим ремонт, 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 Δp_i высокий, и в сумме с p_i давление в тормозной камере правого колеса выше предельно допустимого давления для данного САП (для тормозной камеры левого колеса значение давления находится на границе допустимого и избыточного), однако, ввиду очень маленького периода времени t_i наполнение рабочей полости тормозной камеры колеса, ввиду значительной f_y , давление в тормозных камерах почти равно атмосферному и не обеспечивает торможение этой оси, необходим ремонт, эксплуатация ТС недопустима;

- оси полуприцепа: тормозная камера колеса левого борта имеет нормативное значение давления, f_y незначительная, о чем свидетельствует Δp_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, в результате чего Δp_i избыточен, т.е. техническое состояние тормозной камеры правого колеса полуприцепа находится в диапазоне отказов, необходим ремонт, эксплуатация САП недопустима.

Таблица 1 – Результаты значений ПРП пневмопривода РТС САП

Значения ПРП 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	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$2,40 \cdot 10^{-6}$
Δp_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	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$9,00 \cdot 10^{-4}$

Таким образом, разработанная методика позволяет контролировать динамику изменения внутрисистемных факторов технического состояния и рабочих процессов пневмоприводов РТС САП и предупредить причины ДТП.

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.

Общие выводы

1. На основании проведенных исследований определена и обоснована расчетная модель процесса экстренного торможения САП;
2. Установлены факторы, определяющие значение несимметрии тормозных сил по бортам САП. Это такие ПРП пневмопривода РТС, 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, влияние длины тормозных контуров, время наполнения рабочей полости элементов пневмопривода при утечках воздуха.
3. Обоснован механизм формирования тормозных сил по бортам САП, учи-

тывающий «опасные» факторы возникновения ДТП. В ходе экспериментальных исследований параметров процесса складывания САП определено, что разница максимумов P_T по колесам осей САП составила от 12 до 17 %. Анализ выполненный в ходе сравнения полученных осциллограмм значений давлений в тормозных камерах и тормозных сил колес САП подтверждает, что ПРП, 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. Несимметрия действия тормозных сил 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 воздуха данные подтверждают необходимость контроля указанных параметров.

4. Экспериментальные исследования параметров процесса торможения автопоездов позволили выполнить оценку влияния несимметрии тормозных сил по бортам на механизм их складывания. Экспериментально доказано, что утечки воздуха вызывают несимметрию тормозных сил по бортам САП и разницу во времени их приложения. Искусственно заданные утечки, допустимые по величине действующим ГОСТ 33997–2016 обусловили разницу рабочих параметров и формирование бортовой несимметрии сил. Таким образом, доказано влияние технического состояния пневмопривода на причины ДТП, связанные со складыванием САП.

5. Для технического обеспечения исследуемой задачи выбран роликовый тормозной стенд IW 7 Eurosystem. Он позволил регистрировать изменение динамики ПРП пневмоприводов каждого колеса САП во времени. Высокая степень точности обеспечена радиодатчиками давления путем регистрации изменяющихся во времени параметров с необходимой дискретностью их фиксации.

6. Разработана методика решения задач предупреждения причин ДТП с участием САП при торможении и обоснование допустимого по БДД их технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса. Представленная методика позволяет выполнять расчет ПРП пневмоприводов РТС САП, осуществлять контроль динамики изменения «опасных» факторов, и, как следствие, предупреждать причины ДТП, связанные с неисправностями РТС;

7. Разработана методика стендового контроля технического состояния пневмоприводов РТС САП и обработки экспериментальной оценки его свойств. Она позволяет достоверно локализовать неисправность пневмоприводов и характеризовать степень развития дефектов тормозной системы, что в совокупности с решенными задачами позволит обеспечить предупреждение причин ДТП.

IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Щербакова, О.В. Обоснование математической модели процесса соударения с целью разработки методики повышения оценки точности определения скорости движения автопо-

езда в начале опрокидывания на криволинейных траекториях / О. В. Щербакова // Вестник гражданских инженеров. – 2016. - № 2 (55). – С. 252–259.

2. 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 (0.5 п. л.).

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

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

5. Щербакова, О. В. Обоснование расчетной схемы сил, действующих на САП при его торможении и факторы, вызывающие несимметрию тормозных сил по бортам САП/О.В. Щербакова// Вестник гражданских инженеров.– 2018.– №6 (71). – С. 208–213.

6. Евтюков, С. А. Разработка методики решения задач предупреждения причин складывания САП и обоснования допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП / С. А. Евтюков, О. В. Щербакова // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – №6 (71). – С. 185–192.

Публикации в других изданиях:

7. 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.