

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Красюк Александр Николаевич

УДК 629.33 + 629.062

**Совершенствование электронно-пневматической тормозной системы
автотранспортных средств**

Специальность 05.22.02 – автомобили и тракторы

Д и с с е р т а ц и я

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель

Рыжих Леонид Александрович

Кандидат технических наук, профессор

Харьков – 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1. Анализ существующих электронно-пневматических тормозных систем автотранспортных средств	14
1.2. Анализ влияния конструкции и режимов работы модулятора на рабочие процессы в контуре электронно-пневматической тормозной системы	23
1.2.1. Анализ получения следящего действия в электронно-пневматических тормозных системах.....	23
1.1.2. Анализ получения регулирующего действия в электронно- пневматических тормозных системах.....	29
1.3. Анализ конструкций пневматических модуляторов электронно- пневматических тормозных систем	32
1.4. Цель и задачи исследования.....	39
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ И РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ КОНТУРА ЭЛЕКТРОННО- ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ МОДУЛЯТОРОМ.....	40
2.1. Выбор конструктивной схемы и основных параметров пропорционального модулятора	40
2.2. Выбор входных и выходных параметров пропорционального модулятора с приводом от шагового электродвигателя	44
2.2.1. Определение рабочих характеристик шагового электродвигателя	48
2.3. Математическое моделирование статической характеристики пропорционального модулятора.....	51
2.4. Математическое моделирование динамики работы контура электропневматического тормозного привода с пропорциональным модулятором	53
Выводы по разделу.....	62

РАЗДЕЛ 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО	
МОДУЛЯТОРА С ПРИВОДОМ ОТ ШАГОВОГО	
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	65
3.1. Описание конструкции исследуемой электронно-пневматической	
тормозной системы	65
3.2. Выбор шагового электродвигателя и его параметров	78
3.3. Выбор и обоснование алгоритма управления	83
3.3.1. Алгоритм работы контура электронно-пневматической тормозной	
системы при работе в режиме выполнения служебного	
торможения	89
3.3.2. Алгоритм работы контура электронно-пневматической тормозной	
системы при работе в режиме выполнения антиблокировочной	
функции.....	93
Выводы по разделу.....	102
РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТУРА	
ЭЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ	
С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ МОДУЛЯТОРОМ.....	104
4.1. Программа экспериментальных исследований.....	104
4.1.1. Исследования рабочих процессов и характеристик разработанного	
контура электронно-пневматической тормозной системы с	
пропорциональным модулятором	104
4.1.2. Оборудование для исследования рабочих процессов и характеристик	
разработанного контура электронно-пневматической тормозной	
системы	105
4.2. Методика и результаты исследования рабочих процессов и	
характеристик контура электронно-пневматической тормозной системы	
с пропорциональным модулятором	120
4.3. Оценка эффективности разработанного контура электронно-	
пневматической тормозной системы с пропорциональным модулятором	
при торможении колеса в экстренном режиме	125

4.4. Влияние перераспределения нагрузки на процесс качения колеса при экстренном торможении	135
Выводы по разделу	139
ВЫВОДЫ	140
Приложение А. Экспериментальные осциллограммы определения предела блокирования с нагрузкой на колесо 27 кН	142
Приложение Б. Патенты	146
Приложение В. Акты внедрения.....	168
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	175

ВВЕДЕНИЕ

Динамика и качество торможения являются одними из важнейших эксплуатационных свойств автотранспортных средств (АТС). Большинство зарубежных производителей тормозных систем, такие как: Bosch, WABCO, Knorr-Bremse, Haldex, Bendix, Lucas Industries, AlliedSignal Truck Brake Systems и др., различными способами пытаются добиться того, чтобы рабочая тормозная система современных автомобилей и автопоездов в любых дорожных условиях обеспечивала минимальный тормозной путь при одновременном сохранении устойчивости и управляемости транспортного средства. В виду того, что значительное количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) происходит из-за человеческого фактора, так как в аварийных ситуациях при нажатии на педаль тормоза водителю сложно учесть многие факторы, например, загрузку автомобиля, неравномерное сцепление колес с дорогой и т.д. Поэтому созданы электронные системы управления узлами и агрегатами, которые без участия водителя влияют на динамику торможения и движения автомобиля.

Большое внимание, уделяемое за рубежом антиблокировочным (АБС) и противобуксовочным (ПБС) системам, свидетельствует об их существенном влиянии на повышение активной безопасности АТС. То, что установка АБС в настоящее время стала обязательной именно на тяжелых грузовых автомобилях, автопоездах и автобусах, объясняется большим материальным ущербом и человеческими жертвами, имеющими место при авариях этих АТС [1]. Поэтому объединение антиблокировочной системы, противобуксовочной системы и электропневматического тормозного привода в единую систему управления на базе общих датчиков, модуляторов, электронного блока управления является наиболее перспективным направлением совершенствования тормозной системы АТС.

Как известно из [2, 3] тормозная система АТС должна быть как минимум двух контурной, а современная электронно-пневматическая тормозная система

(ЭПТС) при наличии индивидуальных модуляторов на каждом колесе представляет собой многоконтурную тормозную систему, с основополагающими функциями электропневматического тормозного привода и АБС. Рабочие процессы, в данном случае, в каждом контуре ЭПТС будут аналогичны. На основании этого в настоящей диссертационной работе теоретически и экспериментально исследован рабочий процесс контура рабочей электронно-пневматической тормозной системы с разработанным пропорциональным модулятором и системой управления им. Проведены стендовые экспериментальные исследования разработанной системы на соответствие международных требований Правил ЕЭК ООН №13, с основополагающими функциями электропневматического тормозного привода и АБС.

Актуальность темы. На современном этапе развития автомобилестроения требования к тормозным системам АТС постоянно растут. Это находит отображение в стандартах и других национальных и международных нормативных документах [2, 3].

Созданные ЭПТС, позволяющие, на данный период времени, обеспечить наивысший уровень активной безопасности АТС, обладают недостатками, препятствующими их массовому использованию. Поэтому создание конкурентоспособной ЭПТС, превосходящей зарубежные аналоги по характеристикам и себестоимости, является актуальной задачей для Украины.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа является составной частью исследований Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ) по проблеме «Безопасность дорожного движения» в соответствии с постановлением Национального совета по вопросам безопасности жизнедеятельности населения №3 от 25 декабря 1997г. «О соответствии требований охраны труда, машин, транспортных средств, оборудования которое изготавливаются в Украине» и относится к комплексной теме исследований кафедры автомобилей ХНАДУ «Системное проектирование и конструирование транспортных средств,

обеспечивающих необходимую активную безопасность дорожного движения», «теоретические и экспериментальные исследования электропневматического тормозного привода автотранспортных средств» № 0198U005036, «Разработка теоретических основ синтеза элементов электропневматического тормозного привода объединенного с АБС», «Теоретические и экспериментальные исследования электропневматического тормозного привода автотранспортных средств, объединенного с антиблокировочной тормозной системой» № 0101U005210. Роль автора в научно-исследовательских работах заключается в разработке, теоретическом и экспериментальном исследовании электронно-пневматического привода рабочей тормозной системы транспортного средства оборудованной пропорциональным модулятором прямого действия с приводом от шагового электродвигателя.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является совершенствование электронно-пневматической тормозной системы автотранспортных средств путем изменения способа получения следящего действия.

Согласно поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать электронно-пневматические тормозные системы, и влияние релейного модулятора на рабочие процессы в контуре;
- выбрать и обосновать входные и выходные параметры пропорционального модулятора электронно-пневматической тормозной системы с приводом от шагового электродвигателя, и исследовать функциональные связи и рабочие процессы контура электронно-пневматической тормозной системы с пропорциональным модулятором;
- разработать пропорциональный модулятор электронно-пневматической тормозной системы и систему управления им;
- экспериментально подтвердить работоспособность и оценить эффективность работы разработанного контура электронно-пневматической тормозной

системы с пропорциональным модулятором при выполнении функций электропневматического тормозного привода и АБС.

Объект исследования – рабочий процесс контура электронно-пневматической тормозной системы с функциями электропневматического тормозного привода и АБС.

Предмет исследования – влияние конструкции пропорционального модулятора и системы управления им на рабочие процессы в контуре электронно-пневматической тормозной системы.

Методы исследования. Для определения состояния вопроса и постановки задач исследования использованы методы сбора и анализа информации; для исследования работы электронно-пневматической тормозной системы - методы математического моделирования и численные методы решения дифференциальных уравнений; в экспериментальных исследованиях использовались электрические методы измерения физических величин и натурные испытания в стендовых условиях.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

- впервые установлены зависимости, которые позволяют обосновать конструктивные параметры пропорционального модулятора с приводом от шагового электродвигателя;
- разработана концепция, которая развивает идеи создания системного подхода к проектированию системы управления электронно-пневматической тормозной системой.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что разработаны зависимости, которые позволяют определить исходные параметры электропневматического тормозного привода с пропорциональным модулятором и осуществить моделирование его переходных процессов; концепции проектирования системы управления электронно-пневматической тормозной системой.

Результаты проведенных исследований введены на ОАО „Полтавский автоагрегатный завод”, ПАО „Волчанский агрегатный завод”, НПФ „Елон-ТТ”.

Практическое использование полученных результатов направлено на достижение социального эффекта по улучшению условий труда водителей, снижение количества дорожно-транспортных происшествий и повышению активной безопасности автомобилей в целом.

Личный вклад соискателя. Теоретические и экспериментальные исследования, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежат: результаты анализа ЭПТС и существующих конструкций модуляторов [4, 5]; проведен анализ функционирования антиблокировочной системы (АБС), установленной на автобусе МАЗ-256 [6]; методика определения параметров пропорционального модулятора ЭПТС с ШЭД [9]; математическая модель контура ЭПТС за счет которой решены совместно уравнения электро- и газовой динамики [10].

Апробация результатов диссертации. Диссертация обсуждена на научном семинаре кафедры автомобилей Харьковского национального автомобильно-дорожного университета и получила положительную оценку. Основные положения и результаты теоретических и экспериментальных исследований были доложены и обсуждены на:

- 54-ой международной научно-технической конференции «Безопасность конструкции автотранспортных средств» (г. Дмитров, ФГУП «НИЦИАМТ», 8.06.2006 г.);

- 62-ой международной научно-технической конференции «перспективы развития отечественного автомобилестроения. Конструктивная безопасность автотранспортных средств» (г. Дмитров, ФГУП «НИЦИАМТ», 05.06.2008 г.);

- 70...74-ой научно-технической и научно-методической сессии Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (г. Харьков, ХНАДУ, 2006 -2010 г.);

- XI международная научно-техническая конференция «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы» (г. Севастополь, СНТУ, 16.09.2008 г.);

- XII международная научно-техническая конференция «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы» (г. Севастополь, СНТУ, 15.09.2009 г.);

- II международная научно-технической конференция «Современные технологии и перспективы развития автомобильного транспорта» (г. Винница, ВНТУ, 20.10.2009 г.);

- 70-ой международной научно-технической конференции «перспективы развития отечественного автомобилестроения. Конструктивная безопасность автотранспортных средств» (г. Дмитров, ФГУП «НИЦИАМТ», 02.06.2010 г.).

Публикации. Результаты диссертации опубликованы в 8 научных работах, в том числе 5 – в специальных изданиях перечня ВАК Украины, получены 3 патента.

РАЗДЕЛ 1.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создать тормозную систему, способную эффективно останавливать любое автотранспортное средство, и в наши дни является актуальной задачей. Основными показателями эффективности тормозной системы является длина тормозного пути и установившееся замедление АТС, при темпе приведения органа управления 0,2 с. Для различных АТС регламентирована начальная скорость торможения, но на практике, длина тормозного пути и установившееся замедление АТС, практически не влияют на уменьшение аварийности на дорогах, в виду того, что большинство ДТП происходит по вине водителя. Основными причинами этому является: низкие знания водителем основ эксплуатации и особенностей вождения АТС в различных условиях окружающей среды, возрастающая интенсивность и скорости автомобильного движения требуют от водителя постоянного эмоционального и физического напряжения, что в общем случае снижает скорость реакции водителя [12]. Это очень важный момент, так как в аварийных ситуациях при нажатии на педаль тормоза водителю сложно учесть многие факторы, например, загрузку автомобиля, неравномерное сцепление колес с дорогой, состояние систем и отдельных агрегатов и т.д. Для минимизации участия водителя в процессе торможения с целью предотвращения или снижения последствий ДТП были разработаны и внедрены системы активной безопасности АТС такие как: антиблокировочная система (ABS), электронное распределение тормозных сил (EBD), система курсовой (ESP - Electronic Stability Program или ESC - Electronic Stability Control) и динамической устойчивости (RSP - Roll Stability Program или RSC - Roll Stability Control) транспортного средства, противобуксовочная система (DSC - Drive Slip Control, или TCS - Traction control system; или ASR - Anti-Slip Regulation), система адаптивного регулирования скорости (APC - Adaptive Cruise Control) на основе электронного управления агрегатами и системами [13-17].

Использование воздуха в контурах управления тормозных систем обуславливает большое время запаздывание срабатывания, наличие гистерезиса и пониженную точность управляющего воздействия. Также требуется наличие большого количества клапанов управления, трубок и фитингов, что в свою очередь увеличивает себестоимость системы в целом и вероятность выхода ее из строя [18]. Для устранения этих недостатков требуется изменение управляющего сигнала на более простой и надежный. Одно из направлений по повышению быстродействия пневматического тормозного привода (ПТП) это замена пневматического управляющего сигнала на электрический сигнал. Одним из таких направлений исследований является создание и совершенствование электропневматического тормозного привода (ЭПТП), обоснованию целесообразности применения ЭПТП посвящены работы А.К. Фрумкина, Л.В. Гуревича, А.И. Попова 1985 г.; А.И. Попова 1988 г.; В.В. Нужного, Rex R., Н.Г. Михалевича [19 - 24]. Применение ЭПП на транспортном средстве позволяет решить ряд вопросов:

- значительно повысить быстродействие привода;
- легко решается вопрос эргономики, фактор, оказывающий значительное влияние на безопасность движения;
- удобство компоновки на транспортном средстве.

При этом всем известно, что антиблокировочная система (АБС) на современном этапе развития тормозных систем стала полноправной частью рабочей тормозной системы. И актуальность применения данной системы подтверждена многочисленными исследованиями: Б.Б. Генбома, В.А. Демьянюка, И.С. Оржевского, С.И. Ломаки, Н.Н. Алёксы, С.Я. Ходырева, А.А. Северина, Е.М. Гецовича, E. Kroemer, H. Geupel, L. Segel, R. Mortimer, G.A. Fazekas [25-37].

Еще в начале 80-х годов прошлого века исследователи пришли к выводу, что объединение двух систем ЭПТП и АБС в одну систему на основе общего исполнительного элемента (модулятора) позволит создать тормозную систему способную обеспечить самые высокие требования, которые можно предъявить

к тормозным системам. Работы по созданию такой тормозной системы проводись специалистами ЗИЛа, МАЗа, КамАЗа, а также зарубежными «Bosch», «BENDIX», «KNORR-BREMSE», «WABCO-Westengause» [23]. В 1996 г. впервые была представлена серийная ЭПТС, которая к 2001 году уже обеспечивала выполнение более 8 функций, как в тормозном, так и тяговом режиме (рис. 1.1). В тяговом режиме ЭПТС выполняет две функции:

АРС – функция системы адаптивного регулирования скорости;

ПБС – функция противобуксовочной системы.



Рис. 1.1. Функциональная схема электронно-пневматической рабочей тормозной системы:

ЭУПП – электронное управление пневматической частью привода;

ЭРТС – электронное распределение тормозных сил между осями;

АБС – функция антиблокировочной системы;

СКУ – функция системы курсовой устойчивости;

СДУ – функция системы динамической устойчивости.

Главной особенностью ЭПТС является объединение различного сочетания выше перечисленных функций, с обязательным наличием функции ЭПТП, при торможении, на основе общих датчиков и исполнительных механизмов, управляемых единым электронным блоком управления, которая, в настоящее время, применяется на автопоездах зарубежного производства [18].

Исходя из выше сказанного можно сформулировать следующее определение: электронно-пневматическая тормозная система – это совокупность элементов рабочей тормозной системы управление рабочими процессами которой возложены на электронику, кроме нажатия на педаль тормоза.

1.1. Анализ электронно-пневматических тормозных систем автотранспортных средств

Родоначальником ЭПТС стал ЭПТП с электронным управлением, особенностью которого, было выполнение трех функций: обеспечение высокого быстродействия со следящим действием, регулированием тормозных сил и выполнение функции АБС, с единимыми исполнительными аппаратами управляемые единым электронным блоком управления. Функциональная схема подобного тормозного привода приведена на рис. 1.2 [23].

Такая структура привода тормозной системы позволяла упростить в целом тормозную систему, а как следствие повысить надежность, удобство компоновки, снизить себестоимость и обеспечить высокое быстродействие по сравнению с пневматическим тормозным приводом. Однако реализовать такой вид тормозной системы с характеристиками на уровне традиционной тормозной системе не получилось.

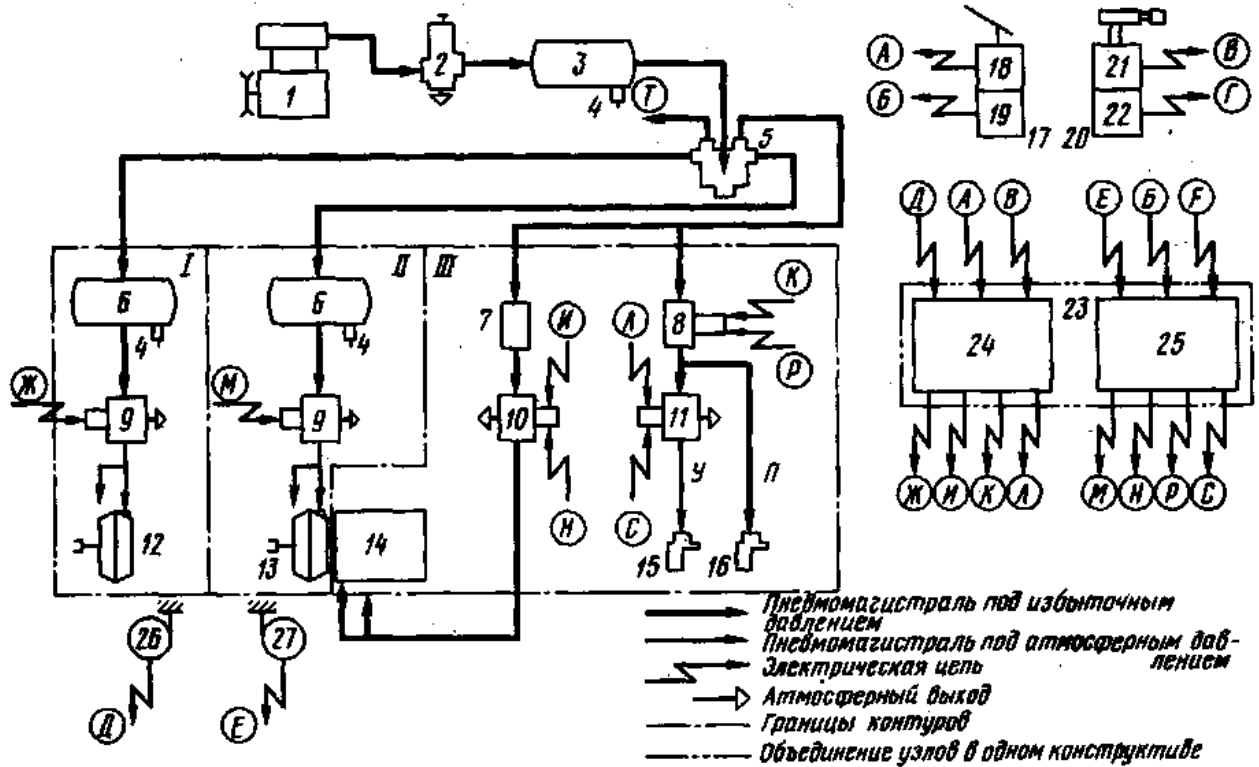


Рис. 1.2. Функциональная схема электропневматического тормозного привода «KNORR-BREMSE» для тягача (расторможенное состояние):

- 1—компрессор;
- 2 - регулятор давления;
- 3 - конденсационный ресивер;
- 4 — кран слива конденсата;
- 5 — четверной защитный клапан;
- 6 — ресивер;
- 7 — обратный клапан;
- 8 — двухпозиционный защитный клапан;
- 9, 11 — нормально закрытые трехпозиционные модуляторы;
- 10 — нормально открытый трехпозиционный модулятор;
- 12 — передние тормозные камеры;
- 13 — задние тормозные камеры;
- 14 — пружинные энергоаккумуляторы;
- 15, 16 — соединительные головки;
- 17 — задатчик тормозной педали;

- 18 — передняя секция задатчика педали;
- 19 — задняя секция задатчика педали;
- 20 — задатчик рукоятки ЗТС (СТС);
- 21 — первая секция задатчика рукоятки;
- 22 — вторая секция задатчика рукоятки;
- 23 — блок управления;
- 24 — первый узел блока;
- 25 — второй узел блока;
- 26 — датчик вертикальной нагрузки переднего моста;
- 27 — то же заднего моста.

В виду использования программной схемы управления [38], т.е. отсутствие обратной связи по давлению и по динамическому состоянию колеса, величина давления в тормозных камерах определяется только входной информацией, полученной блоком управления от датчика положения педали. Такая организация процесса управления не могла обеспечить требуемого качества управления, т.к. любое отклонение характеристик электрических и пневматических цепей от расчетных значений отрицательно сказывается на точности и качестве управления. Поэтому выполнить нормативные требования на практике такая система не могла.

Существенного прогресса в развитии электронно-пневматической тормозной системы АТС достигли зарубежные производители тормозной аппаратуры всемирно известные фирмы «KNORR-BREMSE» и «WABCO-Westengause» в середине 90-х годов. На рис. 1.3 представлена принципиальная схема тормозного привода ЭПТС разработанная фирмой «WABCO-Westengause» [39 - 41].

ЭПТС фирмы «WABCO» состоит из одной двухконтурной, чисто пневматической, и наложенной на нее одноконтурной ЭПТС. Одноконтурный ЭПТП состоит из центрального электронного блока управления 1, осевого модулятора 5 для задней оси, двух датчиков перемещения, встроенные в

тормозной кран 2, а также содержит пропорциональный ускорительный клапан 3.

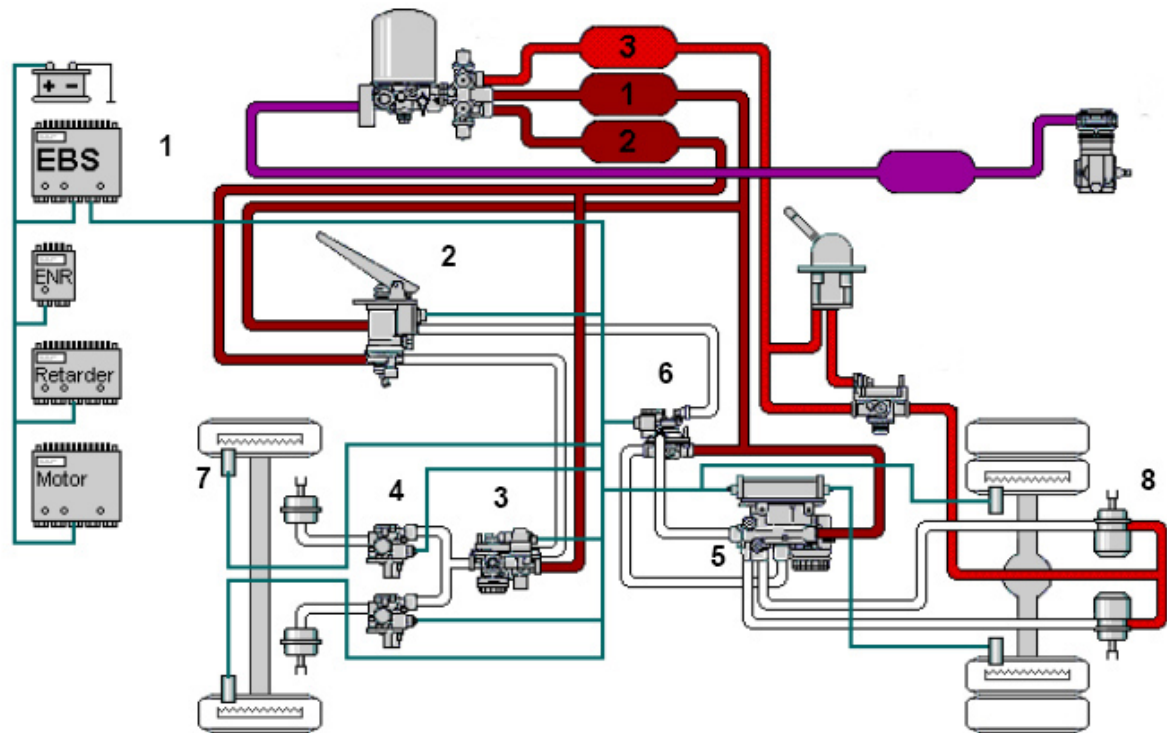


Рис. 1.3. Структурная схема электронно-пневматической тормозной системы фирмы «WABCO-Westengause»:

- 1 – регулятор – электронный блок управления;
- 2 – тормозной кран;
- 3 – пропорциональный ускорительный клапан;
- 4 - модулятор АБС;
- 5 – осевой модулятор ЭПТС;
- 6 – защитный клапан;
- 7 – датчик скорости;
- 8 – энергоаккумулятор.

Функция антиблокировочной системы для передней оси полностью возложена на индивидуальные модуляторы АБС 4, для задней оси обеспечивается осевым модулятором 5. В случае выхода из строя электронного блока управления 1, происходит потеря работоспособности всего рабочего электронно-пневматического тормозного привода. На этот случай производителям пришлось оставить двухконтурную пневматическую систему,

которая по своей структуре соответствует обычной рабочей пневматической тормозной системе.

Функционирование резервной (аварийной) тормозной системы для передней оси обеспечивается пропорциональным ускорительным клапаном 3, для задней оси - защитным клапаном 6. Наличие резервной (аварийной) тормозной системы на данный момент является обязательным и регламентировано требованиями Правил №13 ЕЭК ООН [2, 3].

Систему такого же класса, как и ЭПТС фирмы «WABCO», создала её конкурент фирма «KNORR-BREMSE» представленная на рис. 1.4 [42].

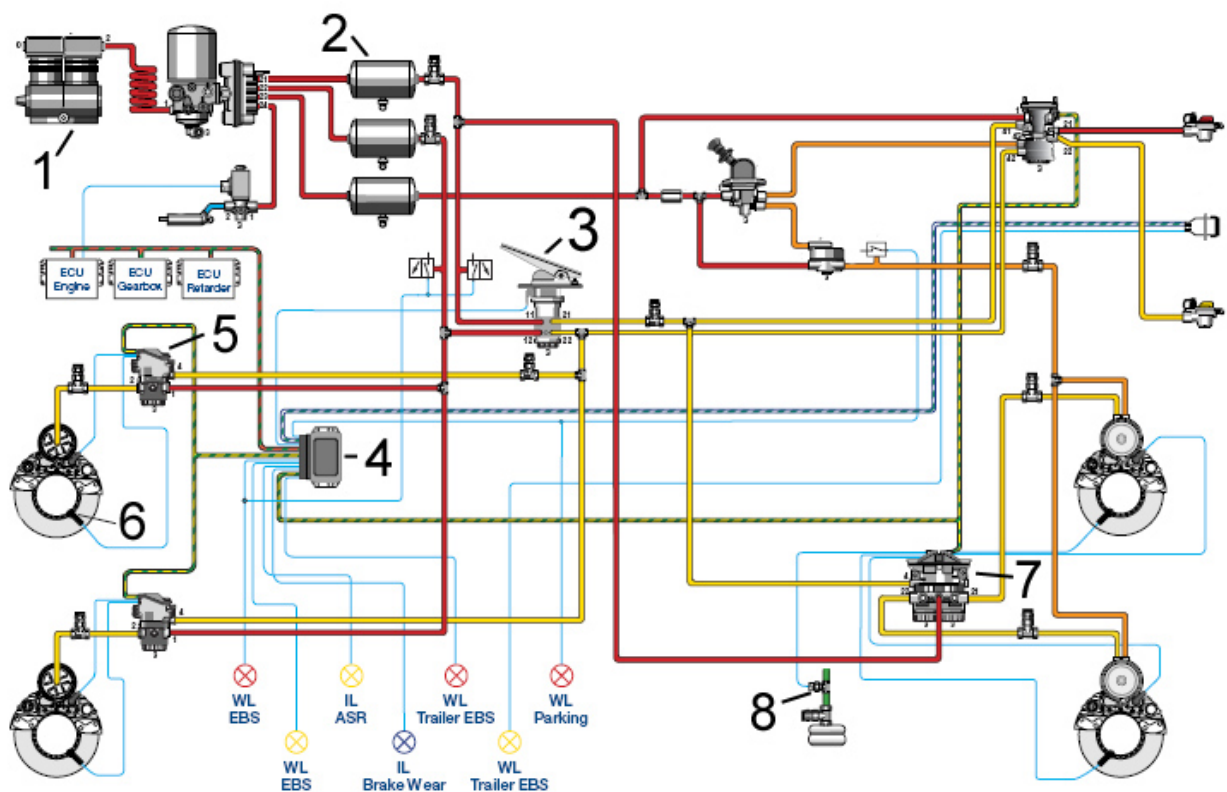


Рис. 1.4. Структурная схема электронно-пневматической тормозной системы фирмы «KNORR-BREMSE»:

- 1 - компрессор;
- 2 – ресивер;
- 3 – тормозной кран;
- 4 - блок управления;
- 5 – одноканальный модулятор ЭПТС;
- 6 – датчик скорости;

7 – двухканальный модулятор;

8 – датчик загрузки задней оси.

Основным отличием ЭПТС фирма «KNORR-BREMSE» является индивидуальное регулирование давления в тормозных камерах, что позволяет обеспечить выполнение максимально возможное число функций.

Применение программно-адаптивной схемы управления тормозной системой [38], путем внедрения системы контроля элементов привода, динамического состояния колеса (различные виды датчиков обратной связи), а также диагностики всех основных элементов тормозной системы позволило обеспечить все нормативные требования [2, 3], предъявляемые к тормозным системам.

К общим недостаткам выше описанных ЭПТС можно отнести:

- сложность всей тормозной системы, так как сохранен обычный рабочий пневматический тормозной привод в качестве резервного (аварийного);
- нет возможности обеспечения высоких показателей эргономики, в виду того, что водитель вынужден воздействовать на тормозной кран, в котором находится датчик положения педали, и который будет выполнять свои функции только при выходе из строя электроники;
- применение такой схемы на короткобазном транспортном средстве не рационально, так как существенного преимущества по быстродействию у ЭПТС перед традиционным пневматическим тормозным приводом нет, поэтому ЭПТС на данный момент нашла применение только на автопоездах.

Направлением развития своей ЭПТС фирма «WABCO» выбрала упрощение конструкции всей тормозной системы, за счет объединения электронного блока управления, пропорционального ускорительного клапана 3 и тормозного крана 2 в один аппарат. В результате был создан аппарат названный центральный блок торможения «CBU» [39], приведенный на рис. 1.5.

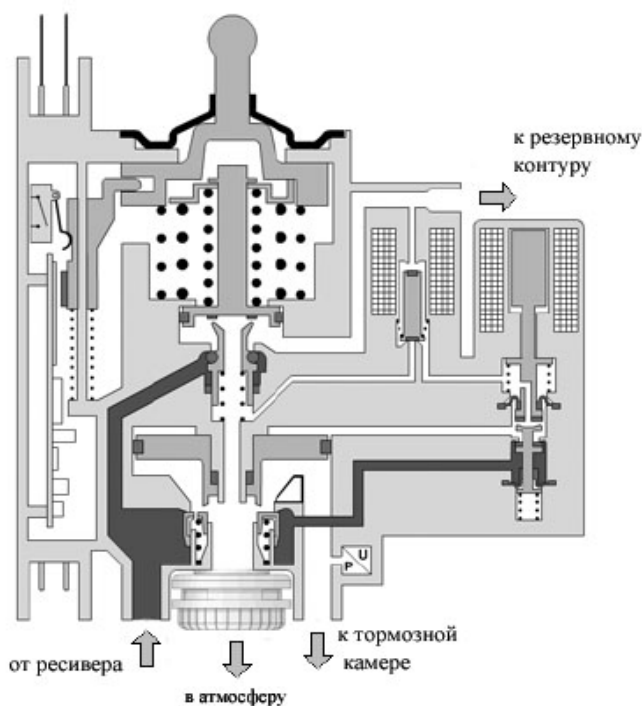


Рис. 1.5. Центральный блок торможения CBU фирмы «WABCO-Westengause».

Блок CBU регулирует тормозное давление в тормозных камерах передней и задней осей, анализирует сигналы датчиков колес. При нажатии на педаль тормоза формируются соответствующие электрический сигнал и резервный пневматический сигнал. Антиблокировочную функцию ЭПТС выполняют модуляторы АБС подобно схеме рис. 1.3 или сам блок CBU.

При возникновении неисправности контур передней оси отсекается, а резервный пневматический сигнал поступает в тормозные камеры задней оси [39, 41]. Такое решение позволяет снизить усилие на педали тормоза, но общая структурная сложность тормозной системы сохраняется.

На рис. 1.6 представлена принципиальная схема ЭПТС «EBS Compact» в котором используются центральный блок торможения CBU.

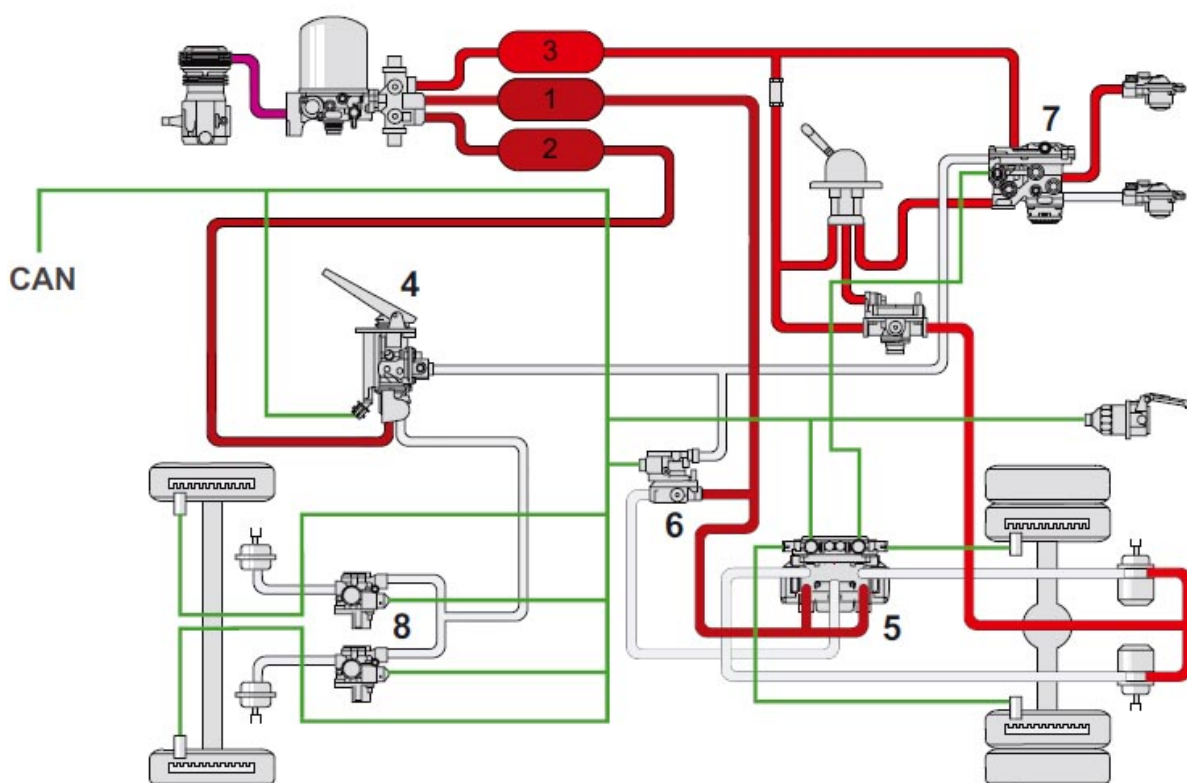


Рис. 1.6 – Принципиальная схема электронно-пневматической тормозной системы «EBS Compact» для грузовиков фирмы «WABCO-Westengause»:

- 1, 2, 3 – ресиверы;
- 4 – Блок CBU;
- 5 – осевой модулятор;
- 6 – защитный клапан;
- 7 – клапан управления прицепом;
- 8 – модуляторы АБС.

В представленной схеме существенному изменению подверглась резервная тормозная система ставшая одноконтурной. Этот факт показывает, что в будущем от резервной тормозной системы откажутся, а надежность всей тормозной системы будет обеспечена электроникой, методом дублирования источников питания, повышением надежности электронных компонентов и т.п., и тогда ЭПТС будет имеет структуру представленную на рис. 1.7.

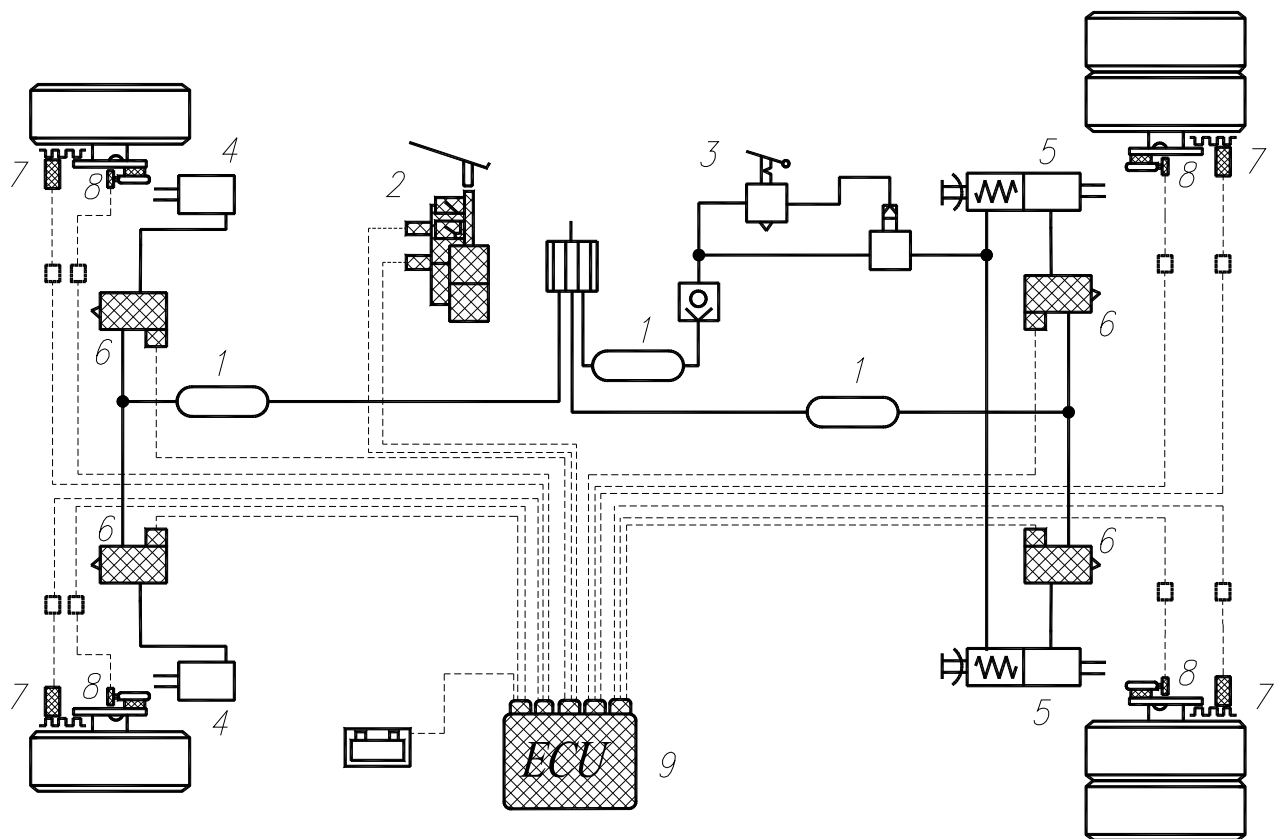


Рис. 1.7. Структурная схема «перспективной» ЭПТС:

- 1 – ресиверы;
- 2 – электронная педаль;
- 3 – ручной тормоз;
- 4,5 – тормозные камеры;
- 6 – пропорциональный модулятор;
- 7 – датчик угловой скорости;
- 8 – электронный блок управления.

Предложенная структурная схема ЭПТС позволит обеспечить:

- высокое быстродействие привода, за счет установки модуляторов рядом с тормозными камерами;
- высокие показатели эргономики управления, отсутствие тормозного крана позволит значительно снизить усилие на педали тормоза;

- качение колеса при торможении с высокой эффективностью в различных скоростных, нагрузочных и сцепных условиях.
- удобство компоновки на транспортном средстве.

Однако для практической реализации перспективной ЭПТС необходимо обеспечить качество следящего действия не хуже чем у традиционной пневматической тормозной системы. Для этого требуется разработка принципиально новых структурных элементов тормозной системы. В связи с чем требуется анализ способов получения следящего и регулирующего действий.

1.2. Анализ влияния конструкции и режимов работы модулятора на рабочие процессы в контуре электронно-пневматической тормозной системы

1.2.1. Анализ получения следящего действия в современных ЭПТС

В виду отсутствия в открытой печати экспериментальных исследований характеристик современных ЭПТС, невозможно однозначно ничего сказать об эффективности и качестве регулирования процесса торможения АТС таких систем. В связи с этим обстоятельством для выявления недостатков и определения пути развития, данных систем, воспользуемся принципом подобия. Ввиду того, что принцип получения следящего действия современных ЭПТС подобен принципу получения следящего действия ЭПТП, рассмотрим процесс получения следящего ЭПТП разработанного Н. Г. Михалевичем [24, 44]. Принципиальная схема получения следящего действия ЭПТС представлена на рис. 1.8 [43].

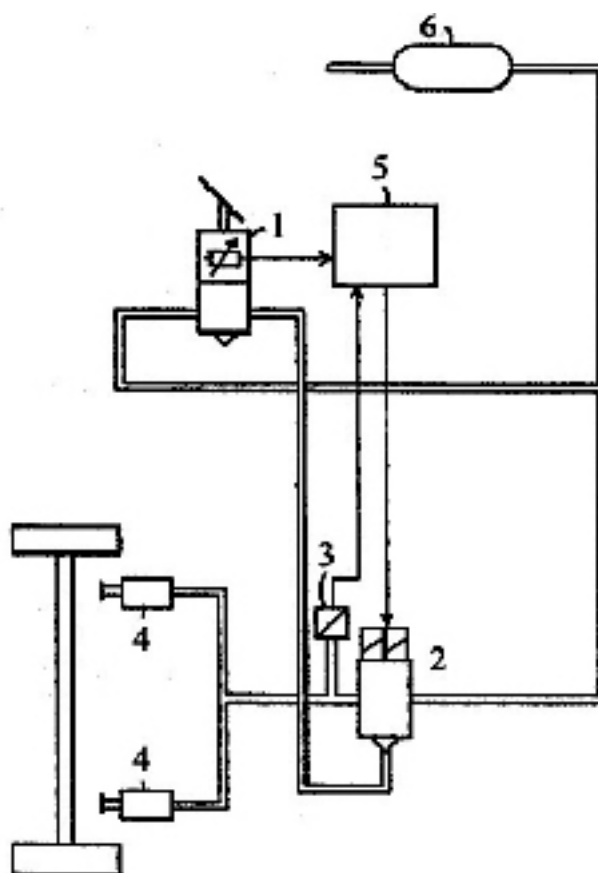


Рис. 1.8. Принципиальная схема получения следящего и регулирующего действий современных ЭПТС:

- 1- тормозной кран с датчиком положения педали;
- 2 - релейный модулятор;
- 3- датчик давления;
- 4 – тормозные камеры;
- 5 – регулятор (электронный блок управления);
- 6 – ресивер.

В основу получения следящего и регулирующего действий существующих ЭПТС положено использование релейных модуляторов с обратной связью по датчику давления. При этом такие системы имеют характерную особенность работы – при плавном изменении задающего воздействия, т.е. усилия на тормозной педали, давление на выходе модулятора изменяется ступенями. На рис. 1.9 представлена экспериментальная

осциллограмма изменения давления на выходе релейного модулятора при плавном увеличении усилия на тормозной педали [24].

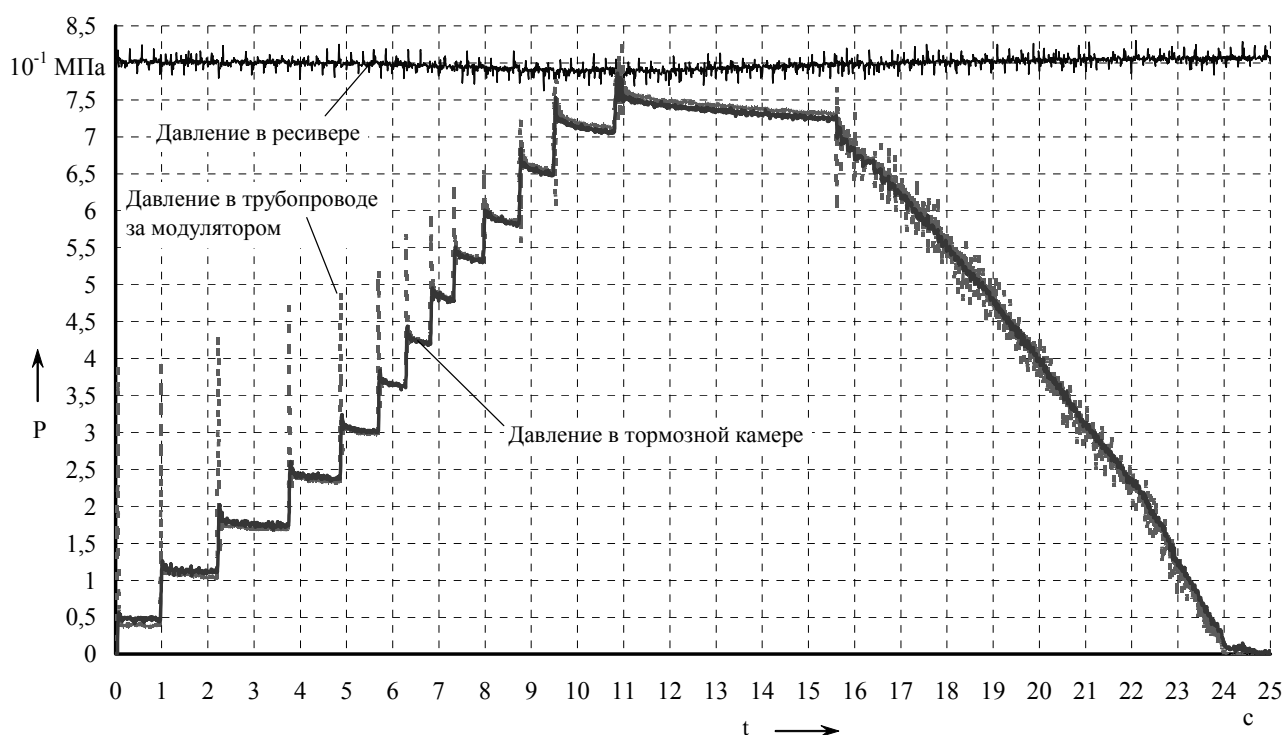


Рис. 1.9. Характер изменения давления на выходе релейного модулятора при плавном увеличении усилия на тормозной педали.

Такая особенность изменения давления в тормозной камере связана с тем, что для релейного типа модуляторов, при работе в составе электронно-пневматической тормозной системы, для обеспечения следящего действия при нажатии на подпедальный электрический модуль, пропорциональность давления в тормозной камере достигается за счет установки датчика давления 3 (рис. 1.9) после модулятора. т.е. каждому положению педали соответствует некое давление, которое показывает датчик давления. На практике применение такой схемы всегда приводит к тому, что появляется запаздывание в системе исполнительный элемент (модулятор) – датчик. При таком решении обратная связь по давлению реализуется внешними (вне модулятора) элементами: датчик давления – электронный блок управления – модулятор. Из-за этого модулятор с опозданием реагирует на сигнал датчика о необходимости перекрывать подачу

давление за модулятором достигает заданной величины P_z (рис. 1.10) блок управления подает команду на прекращение подачи воздуха, но давление за модулятором за время закрытия электроклапана незначительно возрастает. Из-за этого блок управления подаёт новую команду на выпуск воздуха. Когда давление опять достигает величины P_z блок управления прекращает выпуск воздуха, но давление снижается значительно ниже заданной величины, снова происходит наполнение и цикл повторяется, в результате общее время установления давления тоже увеличивается. Подобные явления наблюдаются даже при экстренном приведении педали в действие (рис. 1.11). Как видно из рис. 1.11 темп нарастания давления за модулятором настолько высокий, что повышение давления опережает текущее положение педали, на что блок управления среагировал и подал сигнал на сброс воздуха, а потом опять начал наполнение.

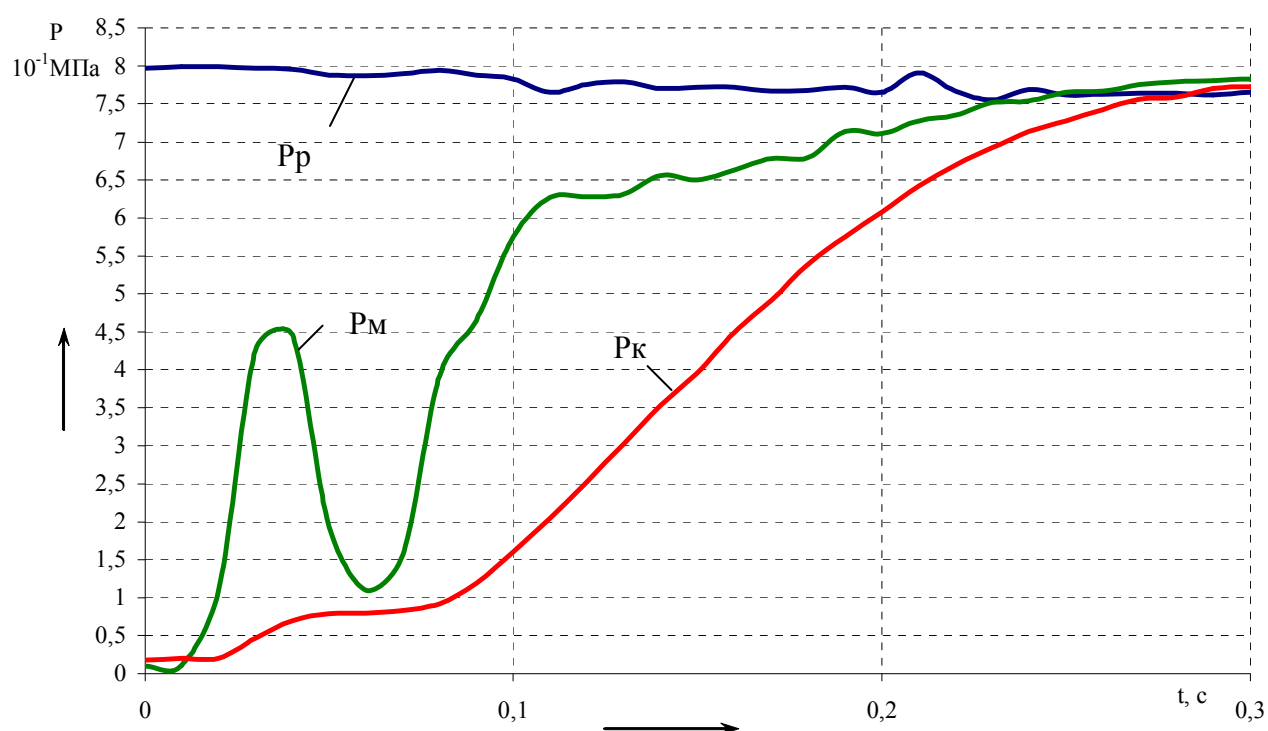


Рис. 1.11. Характер изменения давления на выходе релейного модулятора при экстренном приведении педали тормоза в действие.

Подобная ситуация наблюдается и при быстром отпуске педали тормоза (рис. 1.12). На рис. 1.12 следует обратить внимание, что вся система

управления в целом успевает ещё добавлять сжатый воздух в тормозную камеру, это видно по давлению на выходе из модулятора P_M в некоторые моменты времени оно выше чем в тормозной камере P_K , когда нужно просто выпустить сжатый воздух.

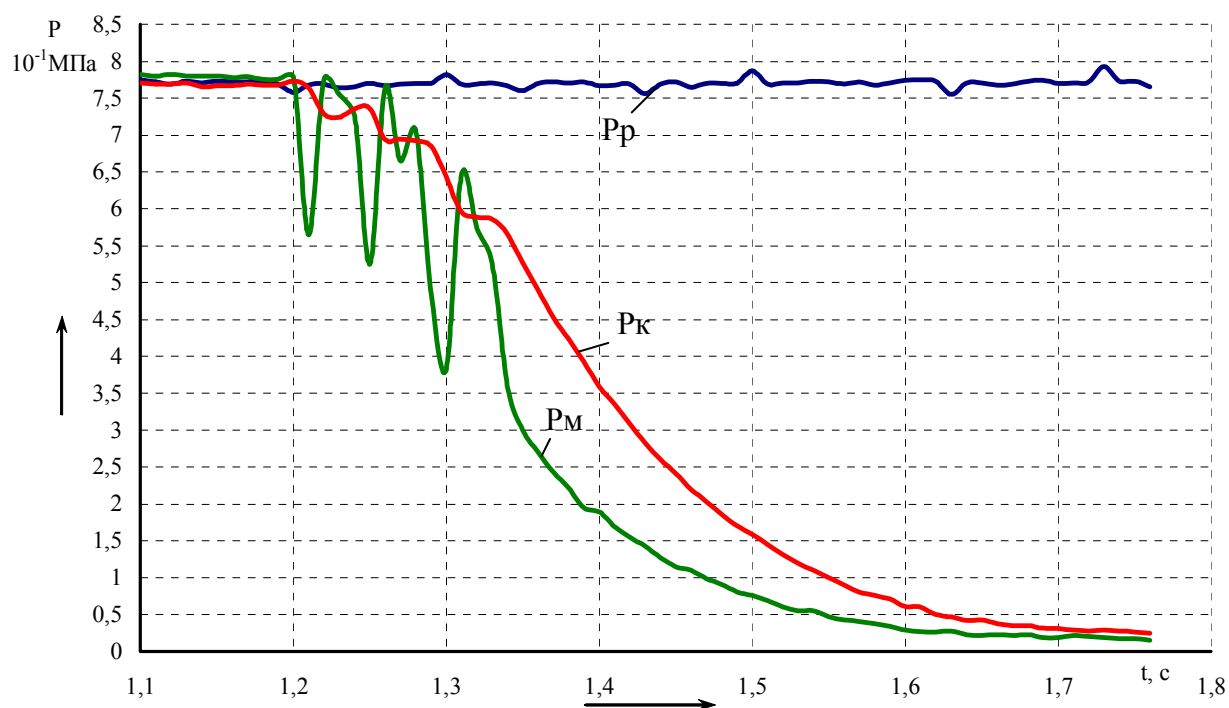


Рис. 1.12. Характер изменения давления на выходе релейного модулятора при быстром отпускании педали тормоза.

Основными путями повышение качества регулирования в приводе ЭПТС созданных на основе релейных модуляторов является уменьшение ступенек давления (рис. 1.9), для этого требуется – уменьшение скорости изменения давления или увеличение быстродействия электропневмоклапана. Первое ограничено нормативами на быстродействие привода при экстренном затормаживании и временем растормаживания, второе – усложнением конструкции модулятора, увеличением энергопотребления и снижением его ресурса. По второму пути идут большинство разработчиков таких систем.

Таким образом, высокое быстродействие электропневмоклапанов повышают точность регулирования давления в тормозной камере, однако при увеличении общего времени установления давления в тормозной камере, а также увеличивается расход сжатого воздуха.

1.2.2. Анализ получения регулирующего действия в электронно-пневматических тормозных системах

Для определения характера изменения давления в тормозной камере при работе ЭПТС в режиме АБС, были проведены экспериментальные дорожные испытания АБС фирм «Экран» г. Борисов и «KNORR-BREMSE» в составе автобуса МАЗ-256200 рис. 1.13 [6].



Рис. 1.13. Ходовая лаборатория кафедры «автомобилей» на базе автобуса МАЗ-256200.

Ходовая лаборатория на базе автобуса МАЗ-256200 оборудована измерительным комплексом ИК ИЭСА рис. 1.14.

Состав испытательной аппаратуры:

- измерительный комплекс для исследования эксплуатационных свойств автомобиля (ИК ИЭСА);

- портативный компьютер "DELL" мод. № PP04X;
- датчик измерения скорости от «пятого колеса»;
- датчик усилия, прикладываемого к педали тормоза;
- датчики давления;



Рис. 1.14. Общий вид измерительного комплекса ИК ИЭСА и датчиков ходовой лаборатории кафедры «автомобилей».

В результате испытаний были получены характерные осциллограммы изменения давления в тормозном приводе при работе АБС рис. 1.15, 1.16.

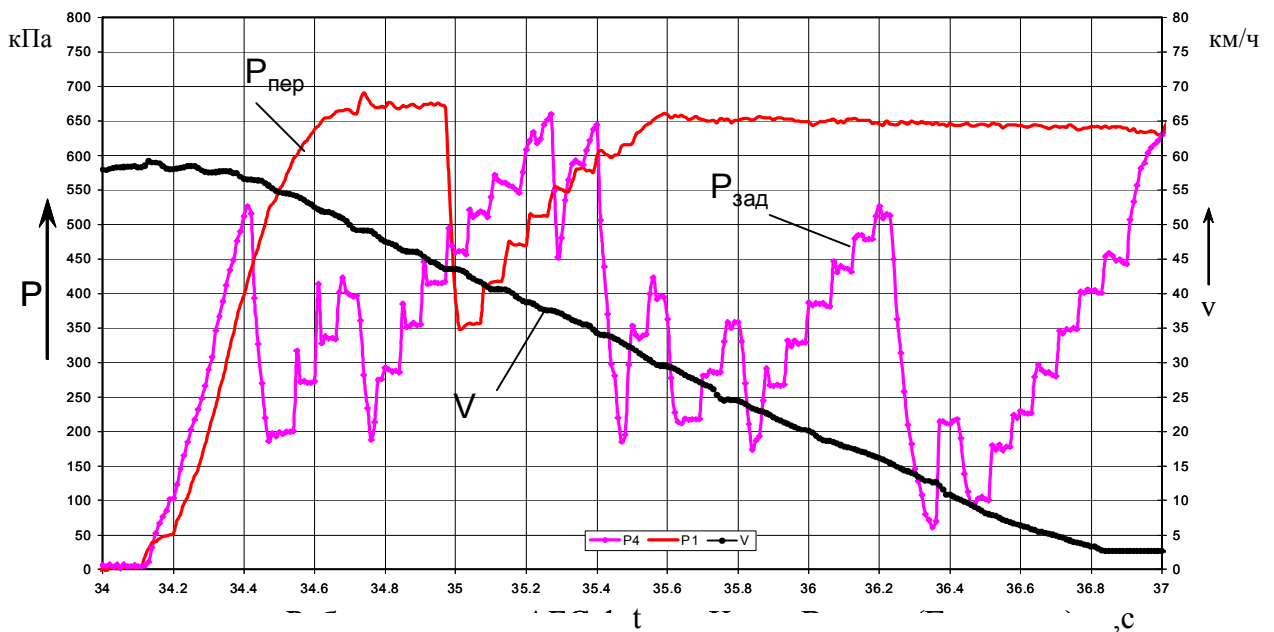


Рис. 1.15. Характерная осциллограмма изменения давления в тормозном приводе при работе АБС фирмы «KNORR-BREMSE» автобуса MA3-256200.

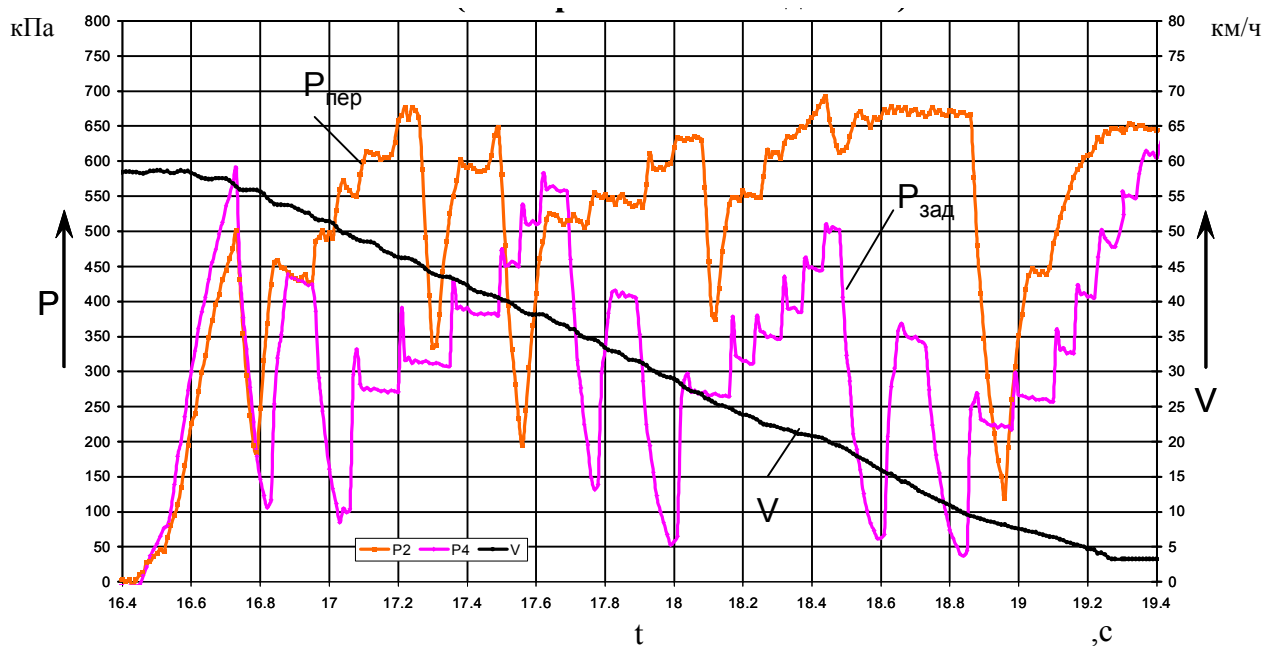


Рис. 1.16. Характерная осциллограмма изменения давления в тормозном приводе при работе ABS фирмы «Экран» г. Борисов автобуса МАЗ-256200.

На характерных осциллограммах рис. 1.15 и 1.16 указаны следующие величины:

$P_{\text{пер}}$ - давление в тормозной камере переднего колеса;

$P_{\text{зад}}$ - давление в тормозной камере заднего колеса;

V - скорость движения транспортного средства.

Как видно из осциллограмм (рис. 1.15, 1.16) при работе системы ABS происходит ступенчатое наполнение тормозных камер, т.е. алгоритм работы ABS преднамеренно растягивает процесс наполнения. Это свидетельствует о том, что на стадии наполнения, высокое быстродействие отрицательно сказывается на качестве регулирования и эффективности работы ABS. Также на стадии опорожнения отсутствуют какие-либо ступеньки изменения давления, а происходит максимально быстрое опорожнение тормозной камеры.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что для обеспечения высокого качества следящего и регулирующего действий необходимо обеспечить

плавное наполнение и быстрое опоражнивание тормозной камеры, и существенное влияние на эти процессы оказывает модулятор, управляемый электронным блоком управления. Поэтому, усовершенствовав модулятор и разработав алгоритм управления модулятором и всей системой управления в целом, возможно, повысить качество регулирования процесса торможения АТС.

Несмотря на общий принцип получения следящего и регулирующего действий в конструкции и работе различных модуляторов ЭПТС имеются отличия, определяемые конструктивной схемой привода, традициями производителя, применением новых материалов и технологий. Учитывая многообразие созданных за прошедшее время конструкций модуляторов для выявления перспективных направлений их совершенствования необходим анализ конструкций существующих модуляторов.

1.3. Анализ конструкций пневматических модуляторов электронно-пневматических тормозных систем

Большинство модуляторов, созданных на базе электропневмоклапанов являются релейными и не прямого действия [45 - 47]. Ярким примером является модулятор фирмы «KNOR-BREMSE» представленный на рис. 1.17 [45] и модулятор фирмы «WABCO-Westengause» представленный на рис. 1.18 [39], конструкции которых очень схожи между собой и отличаются в основном расположением структурных элементов.

Особенностью модуляторов не прямого действия является то, что электропневмоклапаны управляют усилительной полостью пневмоусилителя, в данном случае, расположенную над поршнем. Это позволяет использовать небольшие электропневмоклапаны, с малым проходным сечением и высокой скоростью срабатывания.

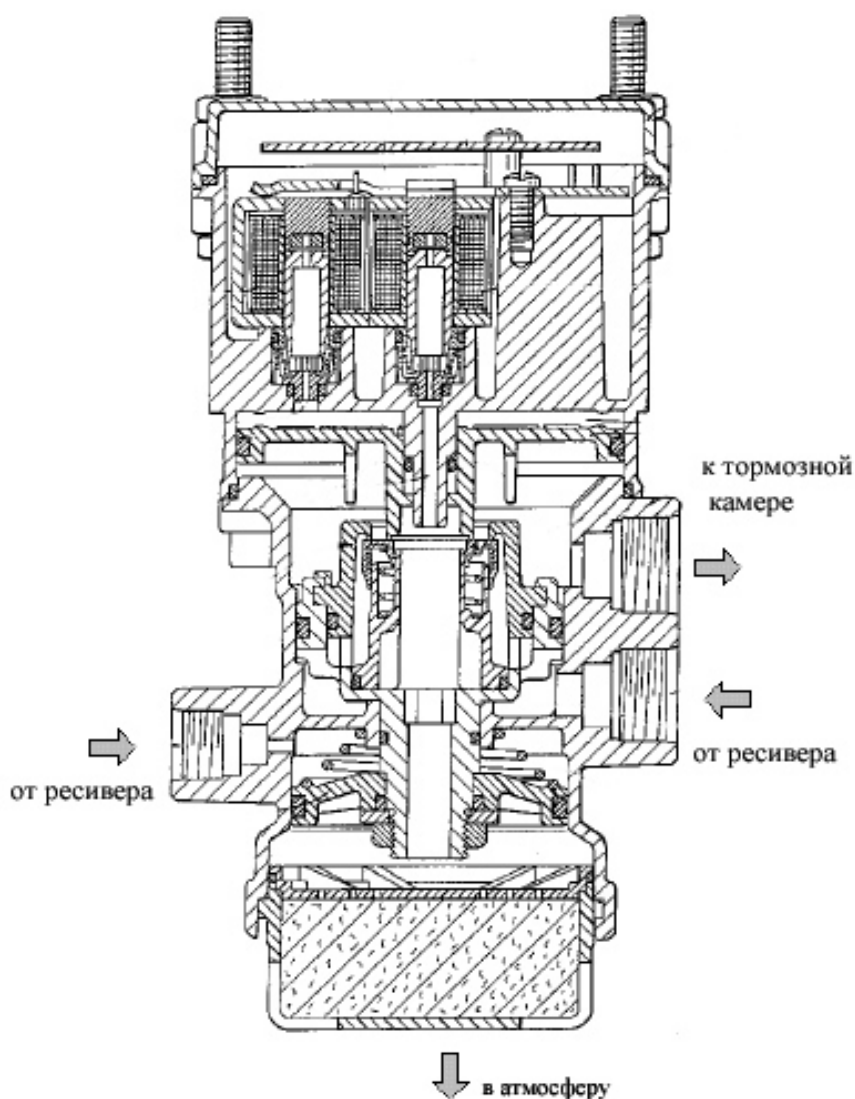


Рис. 1.17. Модулятор давления ЭПТС фирмы «KNOR-BREMSE».

Однако поршневой пневмоусилитель приводит к увеличению зоны нечувствительности и ухудшению следящего действия. Из-за этого модулятор имеет повышенную инерционность и малое быстродействие.

Одним из способов снижения инерционности и повышения быстродействия является уменьшение размеров усилительных полостей, а также использование диафрагменного пневмоусилителя вместо поршневого. На рис. 1.19 представлен модулятор созданный фирмой «WABCO-Westengause» [39].

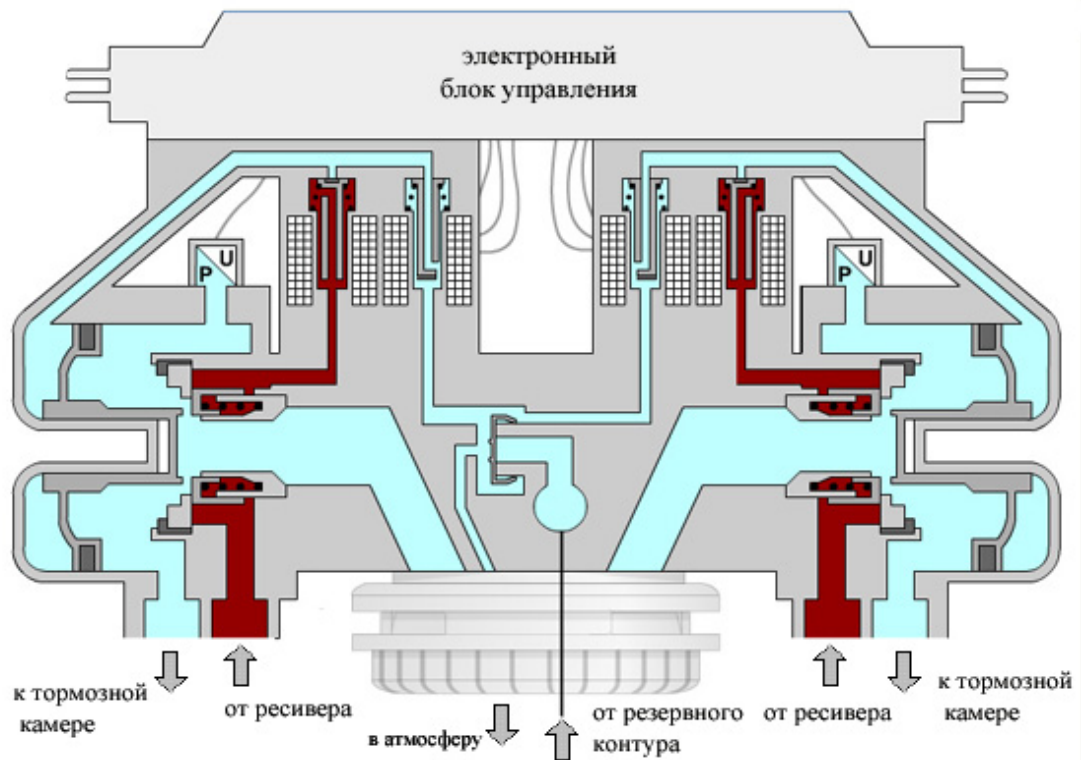


Рис. 1.18. Осевой модулятор давления 2-го поколения ЭПТС фирмы «WABCO-Westengause».

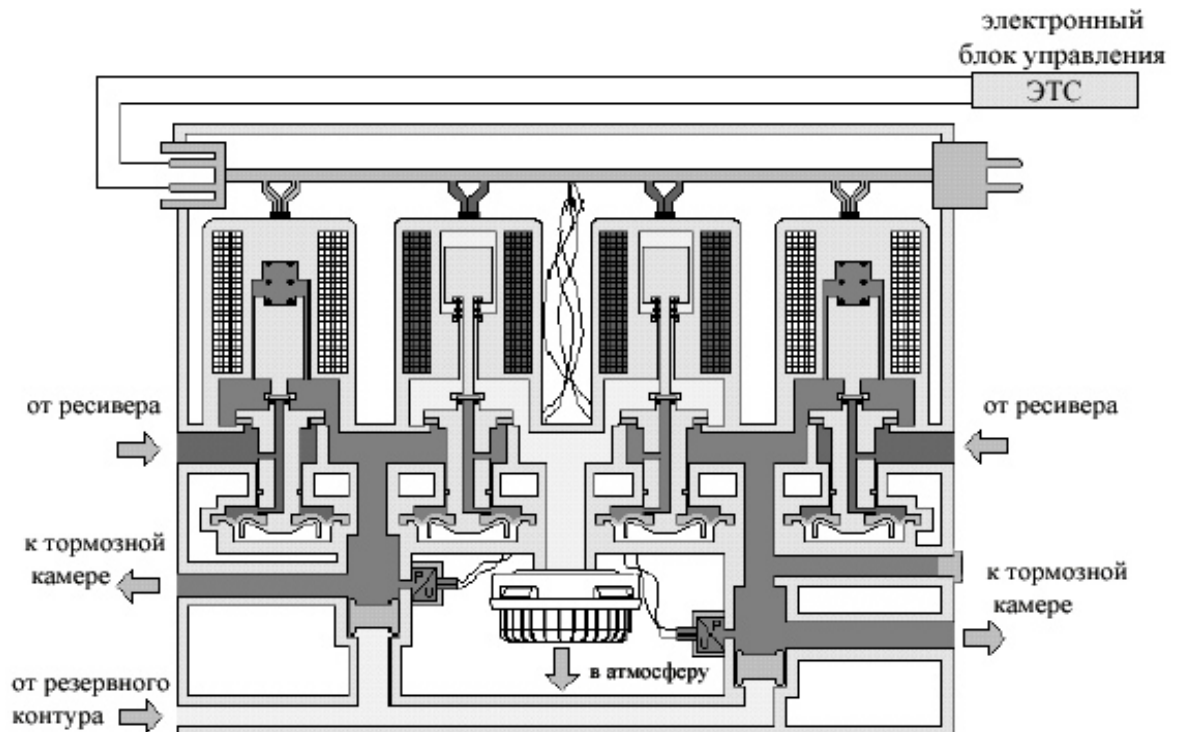


Рис. 1.19. Осевой модулятор давления 1-го поколения ЭПТС фирмы «WABCO-Westengause».

Мембранные модуляторы лишены некоторых недостатков поршневых, достаточно надежны и просты в эксплуатации, но, в свою очередь, имеют повышенную чувствительность к изменению температуры окружающей среды [47], изменение которой приводит к изменению выходных параметров модулятора, поэтому данная разновидность модуляторов всё меньше находит применение.

Следующим этапом в развитии модуляторов для ЭПТС стало создание модуляторов прямого действия [49 - 52]. На рис. 1.20 представлен релейный модулятор прямого действия созданный на базе электропневмоклапана [49].

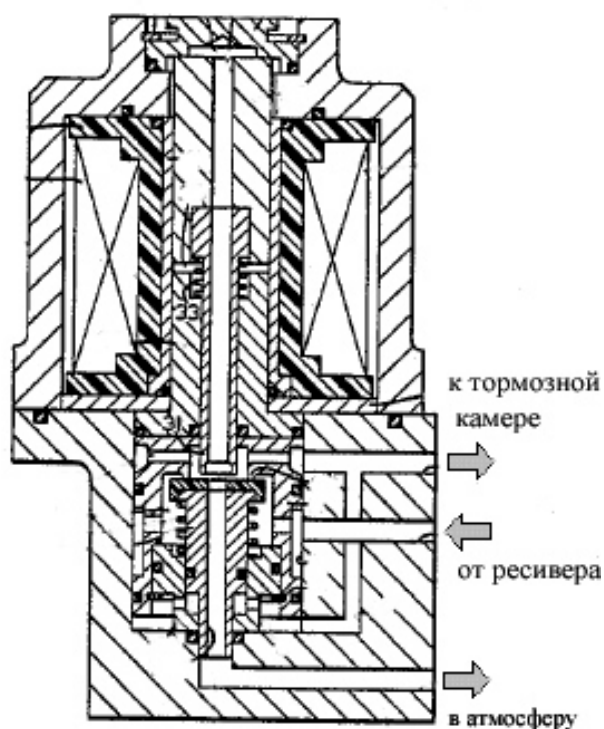


Рис. 1.20. Модулятор прямого действия созданный на базе электропневмоклапана.

К основным преимуществам, таких модуляторов, можно отнести: относительную простоту конструкции, достаточно высокую скорость срабатывания и точность регулирования, а также малые габариты и массу.

Альтернативным решением при создании модуляторов прямого действия является использование шагового двигателя для контроля положения клапанов. На рис. 1.21 представлен модулятор прямого действия созданный на базе шагового двигателя с применением золотниковых клапанов с общим золотником [53].

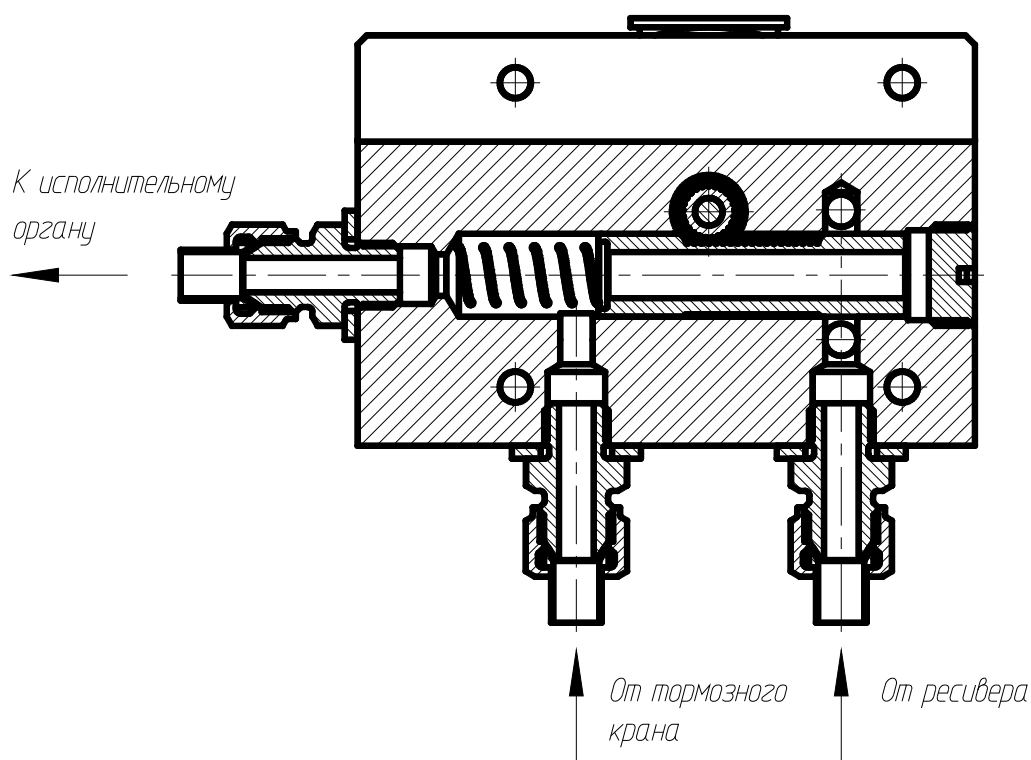


Рис. 1.21. Модулятор прямого действия созданный на базе шагового двигателя.

Но при всех положительных характеристиках релейный модулятор прямого действия для обеспечения высокого быстродействия требуется использование мощных электромагнитов или шагового электродвигателя, поэтому они получили малое распространение.

Одним из возможных вариантов решения проблем, которые возникают в релейных модуляторах, является создание пропорциональных модуляторов [54 - 58], в которых происходит саморегуляция процесса наполнения тормозной камеры, в связи, с чем отпадает необходимость повышать быстродействие

исполнительного элемента, учитывать влияние температурных изменений, учитывать изменение объема управляющей полости. На рис. 1.22 представлены пропорциональные модуляторы созданный на базе пропорционального электромагнита [54, 58].

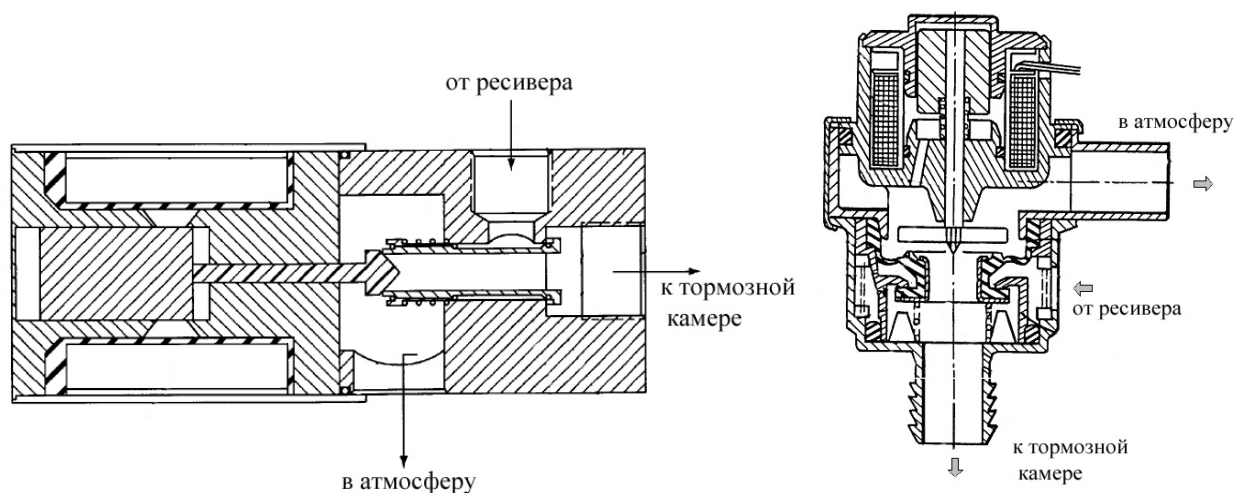


Рис. 1.22. Пропорциональные модуляторы прямого действия созданные на базе пропорционального электромагнита.

Однако в модуляторах построенных по данному принципу основная проблема модуляторов прямого действия сохранилась - потребность использовать мощный и более сложный электромагнит, отсутствие связи с резервной тормозной системой требует наличия дополнительного аппарата в тормозной системе для обеспечения требований Правил №13 ЕЭК ООН [2, 3].

Главное преимущество пропорциональных модуляторов заключается в том, что исключается необходимость применения датчика давления после модулятора. Это в свою очередь позволяет упростить систему управления, а значит, повысит ее надежность и быстродействие. Поэтому применение пропорциональных модуляторов вместо релейных является наиболее рациональным путем совершенствования структуры ЭПТС.

На основе анализа конструкций модуляторов выделим требования к модулятору «идеальной» ЭПТС:

общие требования:

- обеспечивать следящее действие;
 - обеспечивать выполнение всех функций или их отдельных сочетаний современных ЭПТС;
 - обеспечивать быстрое опорожнение ТК
 - простота в управлении;
- конструктивные:
- отсутствие влияния давления воздуха на работу запорно-регулирующего элемента;
 - минимально возможное перемещение подвижных элементов запорно-регулирующего элемента;
 - минимально возможная масса подвижных элементов запорно-регулирующего элемента;
- общетехнические:
- минимальные масса и габаритные размеры;
 - универсальность конструкции;
 - надежность и долговечность;
 - технологичность и невысокая себестоимость изделия.

Итак, рассмотрение состояния вопроса позволяет сформулировать следующие обобщения:

1. Электронно-пневматическая тормозная система на данный исторический период времени может обеспечить наиболее высокий уровень активной безопасности транспортных средств и совершенствование таких систем является наиболее рациональным путем повышения активной безопасности АТС.
2. Выполненные ранее исследования относятся к изучению характеристик тормозных систем с электронным управлением использующие модулятор релейного типа.

3. Совершенствование структурных элементов тормозной системы является наиболее эффективным способом повышения качества регулирования процесса торможения.
4. Недостаточно данных о теоретических и экспериментальных исследованиях по изучению рабочих процессов электронно-пневматической тормозной системы с пропорциональными модуляторами прямого действия.

На основании перечисленных обобщений определены цель и задачи исследований.

1.4. Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является совершенствование электронно-пневматической тормозной системы автотранспортных средств путем изменения способа получения следящего действия.

Согласно поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. выбрать и обосновать входные и выходные параметры пропорционального модулятора электронно-пневматической тормозной системы с приводом от шагового электродвигателя, и исследовать функциональные связи и рабочие процессы контура электронно-пневматической тормозной системы с пропорциональным модулятором;
2. разработать пропорциональный модулятор электронно-пневматической тормозной системы и систему управления им;
3. экспериментально подтвердить работоспособность и оценить эффективность работы разработанного контура электронно-пневматической тормозной системы с пропорциональным модулятором при выполнении функций электропневматического тормозного привода и АБС.

РАЗДЕЛ 2.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ И РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ КОНТУРА ЭЛЕКТРОННО- ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ МОДУЛЯТОРОМ

Для проведения теоретических исследований рабочих процессов контура электронно-пневматической тормозной системы с пропорциональным модулятором необходимо:

- выбрать конструктивную схему пропорционального модулятора;
- выбрать входные и выходные параметры пропорционального модулятора с целью получения исходных данных и математических зависимостей для построения статической и динамической характеристик пропорционального модулятора;
- построить статическую характеристику пропорционального модулятора с целью оценки качества следящего действия;
- построить динамическую характеристику пропорционального модулятора с целью оценки быстродействия ЭПТ с пропорциональным модулятором.

2.1. Выбор конструктивной схемы и основных параметров пропорционального модулятора

Из анализа конструкций модуляторов видно, что основным элементом, управляющим клапанами, являются электроклапаны. Главной причиной этому является простота в управлении. Для выбора конструктивной схемы пропорционального модулятора рассмотрим принцип получения следящего действия в пропорциональном модуляторе. В основу такого модулятора

положено использование пропорционального электромагнита [60, 61] (рис. 2.1).

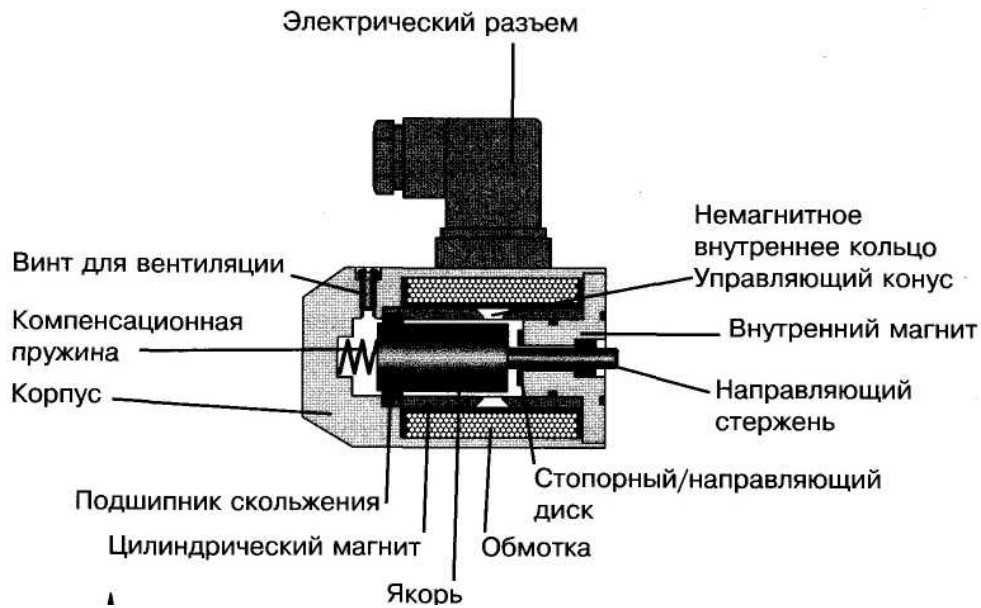


Рис. 2.1. Конструкция пропорционального электромагнита.

При правильном выборе размеров частей из мягкого магнитного железа и управляющего конуса, характеристика пропорционального электромагнита имеет следующий вид рис. 2.2.

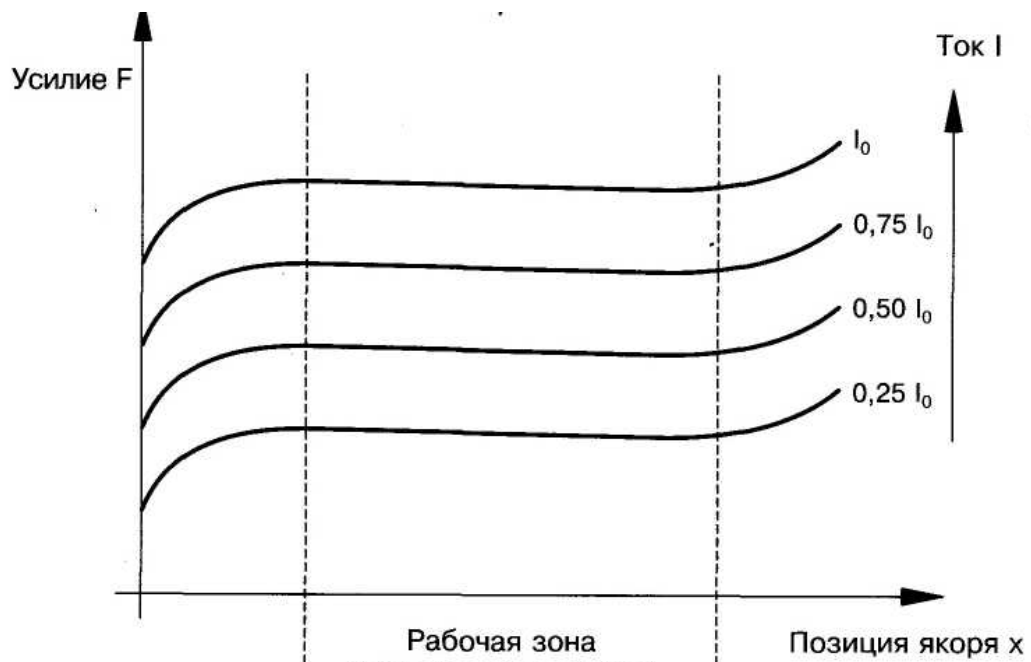


Рис. 2.2. Характеристика пропорционального электромагнита.

Как видно из рабочей характеристики (рис. 2.2) усилие на якоре увеличивается пропорционально силе тока, что позволяет в пропорциональном модуляторе устанавливать зависимость между силой тока, подаваемой от блока управления на катушку пропорционального электромагнита, и давлением в тормозной камере. Увеличение силы тока вдвое приводит к двойному увеличению усилия. Также усилие на якоре не зависит от положения якоря в пределах рабочей зоны, которая обычно составляет 2 мм, это в свою очередь делает возможным реализацию пропорциональности между положением педали и давлением в тормозной камере только по усилию на якоре пропорциональную силе тока.

В разработанном модуляторе [7, 8] (рис. 2.3) предлагается применение плоских клапанов с нулевой активной площадью, а для управления положением клапанов шаговый электродвигатель (ШЭД).

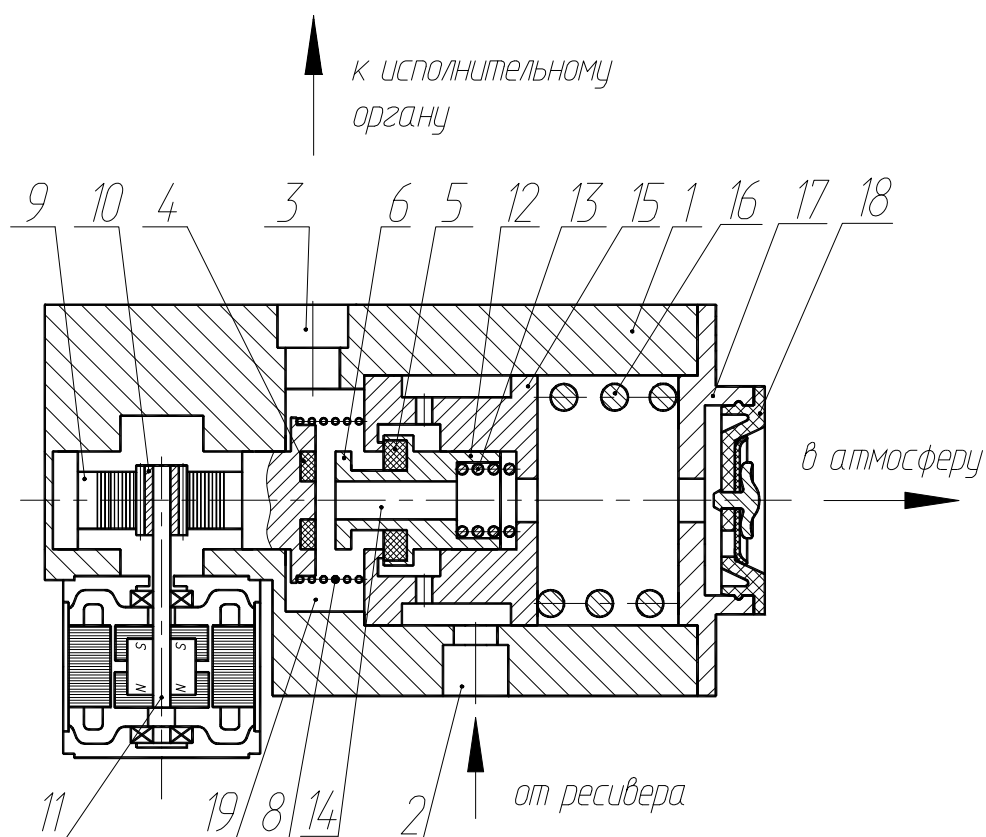


Рис. 2.3. Пропорциональный модулятор созданный на базе шагового электродвигателя.

Разработанный модулятор имеет следящее действие и содержит корпус 1, входной канал 2, соединенный с ресивером сжатого воздуха, и выходной канал 3 соединенный с исполнительным органом (тормозной камерой), выпускной и впускной пневмоклапаны 4 и 5. Пневмоклапаны 4 и 5 выполнены в виде плоских клапанов с нулевой активной площадью. Выпускной пневмоклапан 4, поджатый пружиной 8, жестко связан с штоком на боковой поверхности которого имеется зубчатая рейка 9, через шестерню 10 связан с валом ШЭД 11. Седло клапана 6 сделано совместно с клапаном 12, поджатого пружиной 13, имеющий осевое отверстие 14, связанное с атмосферой. Седло впускного пневмоклапана 5 сделано в пневмопоршне 15, поджатого пружиной 16. В правой части модулятора расположена крышка 17, в которой установлено выпускное окно 18.

Хотя управление шаговым электродвигателем значительно сложнее, чем электроклапаном, но широкое их применение привело к созданию электронных модулей управления шаговыми электродвигателями, что позволило упростить процесс управления шаговыми электродвигателями до уровня электроклапанов, путем создания «драйвера шагового двигателя» - силовая часть с простейшим интерфейсом (шаг, направление), «Драйвер» является усилителем мощности, преобразующим импульсы, поданные на него, в перемещение вала. Каждый импульс, поданный на драйвер, вызывает перемещение вала на 1 шаг (или микрошаг) [62].

Достоинствами модулятора представленном на рис. 2.3 является простота конструкции, отсутствие влияния давления сжатого воздуха на работу ЗРЭ, что позволяет снизить мощность ШЭД, минимально возможное перемещение подвижных элементов ЗРЭ при обеспечении необходимого проходного сечения, обеспечивает высокое быстродействие модулятора. А также благодаря применению ШЭД имеется возможность регулировать время

срабатывания модулятора в процессе выполнения алгоритма любой функции ЭПТС.

2.2. Выбор входных и выходных параметров пропорционального модулятора с приводом от шагового электродвигателя

Исходными данными для расчета основных параметров пропорционального модулятора с ШЭД, а также построения его статической характеристики являются следующие параметры:

z - дискретность перемещения запорно-регулирующего элемента;

t - время полного хода запорно-регулирующего элемента;

Дискретность перемещения ЗРЭ определяется зависимостью перемещения ЗРЭ и выходного давления. В традиционных пропорциональных (следающих) аппаратах, а именно тормозных кранах, ступенчатость изменения выходного давления является одним из показателей качества пневматического тормозного привода [63]. Нормативно не предписана ступенчатость изменения выходного давления в пропорциональных аппаратах, пример достаточно малых ступеней давления в пневматическом тормозном приводе показан в работе [64], величина ступени – 0,01 МПа. По другим рекомендациям допустимая величина ступени давления в пневматическом тормозном приводе не должна превышать 3-4% от максимального давления [65] и 0.02 МПа [66]. Таким образом, дискретность перемещения ЗРЭ можно определить по формуле:

$$z = \frac{P_{\max}}{P_{CT}}; \quad (2.1)$$

где $P_{\max}$ – максимальное давление в приводе; P_{CT} – величина ступени изменения давления.

Минимальное время полного хода ЗРЭ в серийных тормозных кранах определяется временем нажатия на педаль при экстренном торможении, которое нормативно установленное 0,2 с. [67, 68]. Таким образом, максимальное время перемещения ЗРЭ в пропорциональном модуляторе должно быть не более 0,2 с., а минимальное ограничивается моментными параметрами ШЭД.

Исходя из особенностей конструкции пропорционального модулятора и работы ШЭД, для обеспечения высокой скорости срабатывания выбор основных параметров пропорционального модулятора проводится для режима работы ШЭД с постоянной частотой шагов [69 - 71].

Физическая модель пропорционального модулятора [7, 8, 9] исследуемой конструкции представлена функциональной схемой на рис. 2.4.

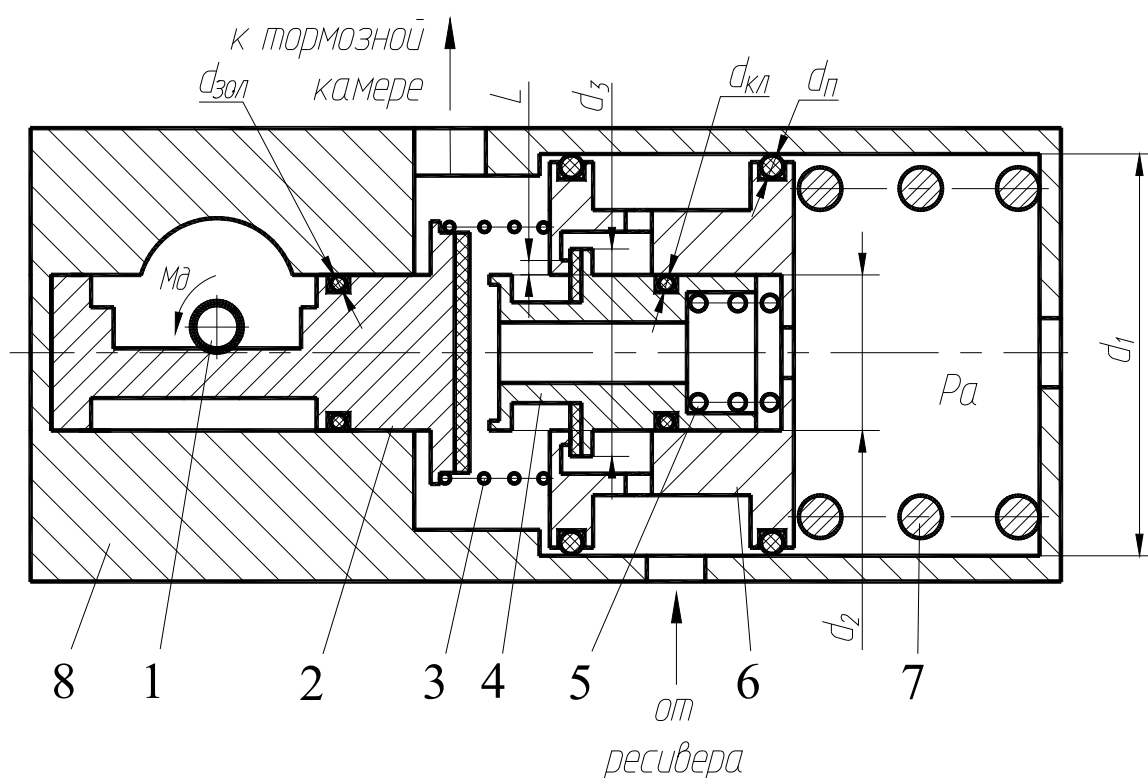


Рис. 2.4. Расчетная схема пропорционального модулятора ЭПТС:

- 1 – шестерня установленная на валу шагового двигателя;
- 2 – шток с зубчатой рейкой;
- 3 – возвратная пружина;
- 4 – двухседельный клапан;
- 5 – пружина двухседельного клапана;
- 6 – следящий пневмопоршень;
- 7 – пружина следящего пневмопоршня;
- 8 – корпус модулятора.

Исходя из расчетной схемы пропорционального модулятора общее сопротивление перемещения подвижных деталей ЗРЭ определяется по следующей зависимости:

$$F_{об} = a \cdot m + \Sigma F_{TP} + F_{ПР2} + F_{СК}, \quad (2.2)$$

где a – ускорение подвижных деталей ЗРЭ, м/с²;

m – масса подвижных деталей ЗРЭ, кг;

ΣF_{TP} – суммарная сила трения при перемещении подвижных деталей ЗРЭ в корпусе модулятора, Н;

$F_{ПР2}$ – усилие пружины 3, Н;

$F_{СК}$ – усилие необходимое для открытия впускного клапана, образованного двухседельным клапаном 4 и следящим пневмопоршнем 6, Н.

Усилие необходимое для открытия впускного клапана определяется по следующей зависимости:

$$F_{СК} = F_{ПР2} + F_P + F_{ТП1}, \quad (2.3)$$

где $F_{ПР2}$ – усилие пружины 5 необходимое для обеспечения герметичности впускного клапана, Н;

F_P – сила действующая на клапан 4 от давления воздуха, Н;

$F_{ТП1}$ – сила трения уплотнительного кольца $d_{КЛ}$ по диаметру d_2 , Н.

Усилие пружины необходимое для обеспечения герметичности клапана определяется:

$$F_{ПР1} = F_Y + F_{ТП1}, \quad (2.4)$$

где F_Y – сила необходимая для обеспечения герметичности впускного клапана, Н.

Сила необходимая для обеспечения герметичности клапана определяется [72]:

$$F_Y = k_3 P_{рmax} \cdot (d_2 - L)L(1 + 0,4 \cdot \mu_p) 2\pi, \quad (2.5)$$

где k_3 – коэффициент запаса;

$P_{рmax}$ – максимально возможное давление в приводе, МПа;

L – ширина пояса клапана, м;

μ_p – коэффициент трения на поверхности «резина - клапан».

Сила трения резинового кольца круглого сечения определяется по формуле [73]:

$$F_{ТП1} = \left(\frac{d_{23}}{2} - d_{\kappa} \right) \cdot K_n, \quad (2.6)$$

где K_n – эмпирический коэффициент;

$d_{\text{эз}}$, $d_{\text{к}}$ – размеры уплотнительного кольца $d_{\text{кЛ}}$, мм.

Сила, действующая на клапан 4 от давления воздуха рассчитывается:

$$F_P = P_{\text{рmax}} \cdot S_{\text{эф}}, \quad (2.7)$$

где $S_{\text{эф}}$ – эффективная площадь клапана 4, м².

Эффективная площадь клапана определяется по формуле:

$$S_{\text{эф}} = \frac{\pi \cdot ((d_2 + L)^2 - d_2^2)}{4}, \quad (2.8)$$

Усилие пружины 3 определяется:

$$F_{\text{ПР2}} = F_{\text{сд}} + F_{\text{ТР2}}, \quad (2.9)$$

где $F_{\text{сд}}$ – сила сопротивления вращению ротора шагового двигателя, Н;

$F_{\text{ТР2}}$ – сила трения уплотнительного кольца $d_{\text{ЗОЛ}}$ (определяется по формуле 2.6), Н.

2.2.1. Определение рабочих характеристик шагового электродвигателя

Перемещение ЗРЭ за один шаг ШЭД, которое соответствует углу поворота ротора ШЭД α , определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{r \cdot \pi \cdot \alpha}{180}. \quad (2.10)$$

Полный ход ЗРЭ h определяется:

$$h = h_1 \cdot z. \quad (2.11)$$

Время одного шага ШЭД t_1 определяется по зависимости:

$$t_1 = \frac{t}{z}, \quad (2.12)$$

где t – время полного хода ЗРЭ, с.

Рабочая частота ШЭД f_p определяется по формуле:

$$f_p = \frac{1}{t_1}. \quad (2.13)$$

Ускорение подвижных деталей ЗРЭ определяется по следующей зависимости, при условии работы ШЭД в режиме с постоянной частотой шагов:

$$a = \frac{2h_1}{t_1^2}. \quad (2.14)$$

В работах [69, 70] статический момент ШЭД выбирается в следующем порядке.

Момент сопротивления нагрузки M_H определяется по формуле:

$$M_H = F_{об} \cdot r. \quad (2.15)$$

Статический момент ШЭД M_D выбирается по зависимости:

$$M_{\text{д}} = \frac{M_{\text{н}}}{0.4}. \quad (2.16)$$

После выбора ШЭД необходимо проверить рассчитанный привод на резонанс. Этот эффект проявляется в виде внезапного падения момента на некоторых скоростях. Это может привести к пропуску шагов и потере синхронности. Эффект проявляется в том случае, если рабочая частота шагов совпадает с собственной резонансной частотой ротора ШЭД.

Резонансная частота вычисляется по формуле:

$$F_0 = (N \cdot T_H / (J_R + J_L)) 0.5 / 4 \pi, \quad (2.17)$$

где F_0 – резонансная частота, Гц;

N – число полных шагов на оборот;

T_H – момент удержания для используемого способа управления и тока фаз, Н·м;

J_R – момент инерции ротора, кг·м²;

J_L – момент инерции нагрузки, кг·м².

По описанной выше методике проведена оценка влияния быстродействия модулятора (под быстродействием подразумевается) на необходимый момент на валу ШЭД при прочих равных условиях, в результате получена зависимость, приведенная на рис. 2.5.

Из зависимости представленной на рис. 2.5 видно, что увеличение быстродействия выше 0,05 с приводит к значительному увеличению необходимого момента на валу ШЭД, следовательно, что создавать быстродействующие аппараты на основе шаговых электродвигателях не рационально.

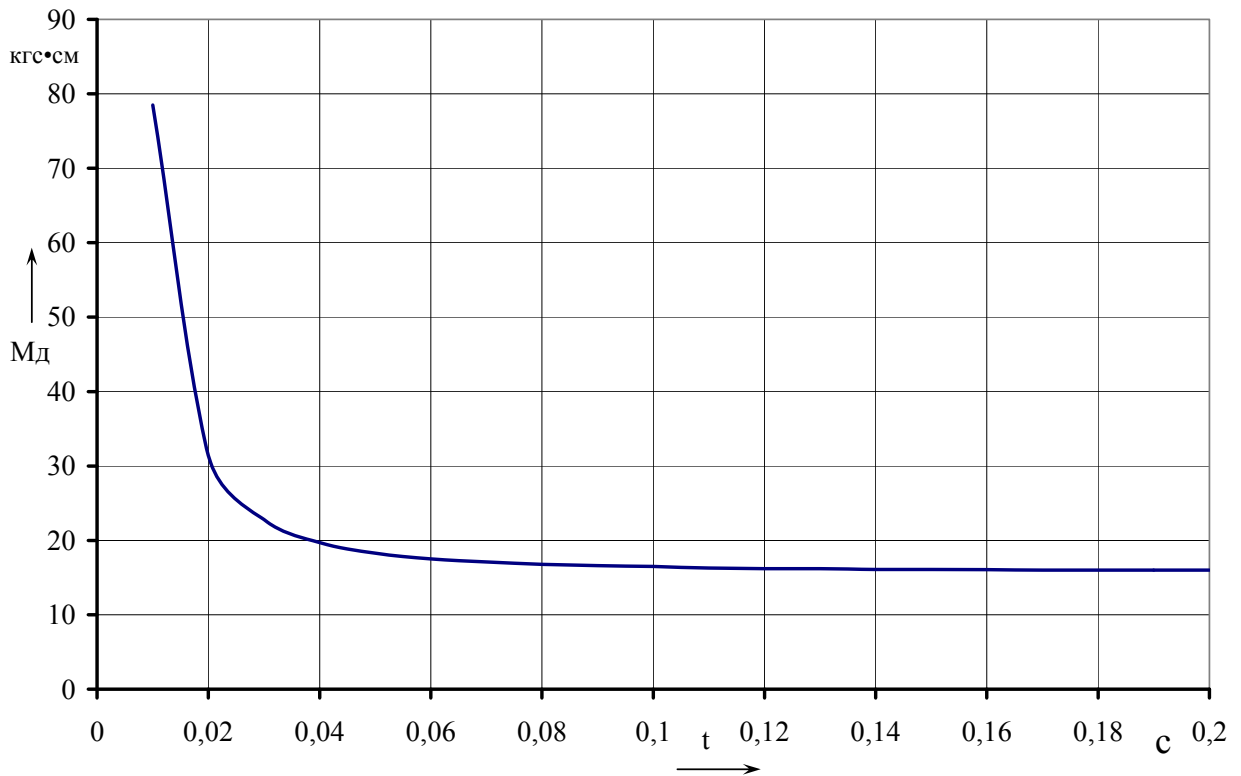


Рис. 2.5. Зависимость влияния быстродействия модулятора на необходимый момент на валу шагового электродвигателя.

2.3. Математическое моделирование статической характеристики пропорционального модулятора

Статическая характеристика пропорционального модулятора (рис. 2.6) определяется как зависимость давления p_T в управляющей полости модулятора от перемещения золотника $h_{зол}$, с учетом гистерезиса. При нажатии на педаль баланс сил, действующий на следящий элемент, описывается уравнением:

$$C_{ПР} \cdot h_1 - F_{TP3} - F_{ПР1} - F_{ПР2} + F_p + F_{TP1} - p_T \cdot \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4} = 0, \quad (2.18)$$

где $C_{ПР}$ – жесткость пружины следящего пневматического поршня, Н/мм;

h_I – положение следящего пневмопоршня 6 (рис. 2.4);

F_{TP3} – сила трения кольца d_{KL} по диаметру d_2 (рис. 2.4), Н.

Давление в управляющей полости на прямой ветви статической (наполнение) характеристики описывается системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_T = 0; \text{ при } h_{3OL} < \frac{D_y^2}{4d_2}; \\ p_T = 4 \cdot F_{PP0} / \pi(d_1^2 - d_2^2); \text{ при } \frac{D_y^2}{4d_2} < h_{3OL} < 2e; \\ p_T = 4 \cdot (C_{PP} \cdot h_1 + F_{TP3} + F_{PP1} + F_{PP2} - F_p - F_{TP1}) / \pi(d_1^2 - d_2^2); \\ \text{при } \frac{D_y^2}{4d_2} + 2e < h_{3OL} < h_{3OL}^{\max}. \end{array} \right. , \quad (2.19)$$

где D_y^2 – условный диаметр сечения выпускного клапана, м;

h_{3OL} – положение золотника, мм;

F_{PP0} – усилие пружины 7 при предварительном сжатии, Н;

e – деформация резинового клапана, м;

Баланс сил, действующий на следящий поршень, в момент открытия выпускного клапана, при отпуске тормозной педали:

$$C_{PP} \cdot h_1 - F_{TP3} - F_{PP1} - p_T \cdot \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4} = 0 \quad (2.20)$$

Давление в управляющей полости на обратной ветви (опорожнения) статической характеристики:

$$\begin{cases} p_T = 0; \text{ при } h_{30Л} < \frac{D_y^2}{4d_2}; \\ p_T = 4 \cdot F_{\text{ПР0}} / \pi(d_1^2 - d_2^2); \text{ при } \frac{D_y^2}{4d_2} < h_{30Л} < e; \\ p_T = 4 \cdot (C_{\text{ПР}} \cdot h_1 - F_{\text{ТР3}} - F_{\text{ПР1}}) / \pi(d_1^2 - d_2^2); \text{ при } \frac{D_y^2}{4d_2} + e < h_{30Л} < h_{30Л}^{\text{max}}. \end{cases} \quad (2.21)$$

С учетом выражений 2.19, 2.21 на рис. 2.6 представлена расчетная статическая характеристика пропорционального модулятора [9].

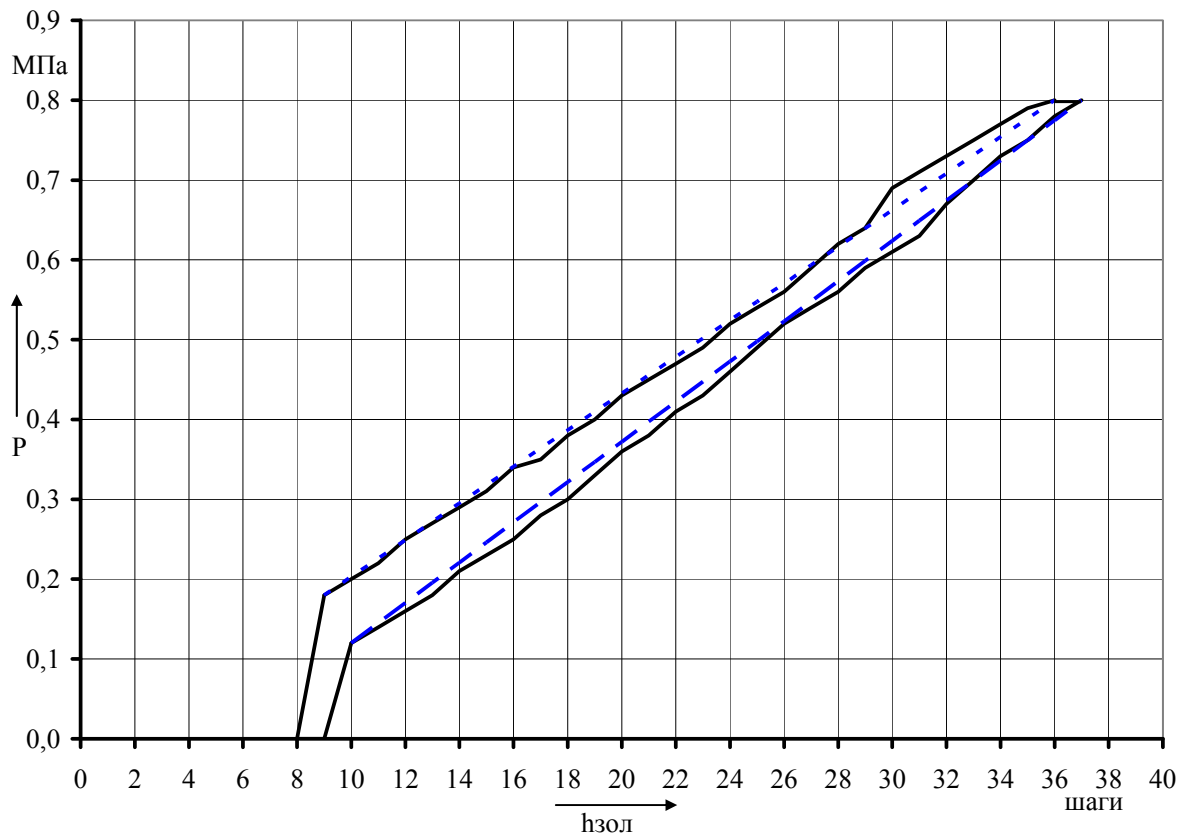


Рис. 2.6. Расчетная статическая характеристика пропорционального модулятора:

- - - - - расчетное затормаживание;

- - - - - расчетное растормаживание;

———— экспериментальное затормаживание и растормаживание;

P – давление сжатого воздуха в тормозной камере;

$h_{30Л}$ – положение золотника.

2.2. Математическое моделирование динамики работы контура электропневматического тормозного привода с пропорциональным модулятором

На рис. 2.7 представлена принципиальная схема исследуемого контура.

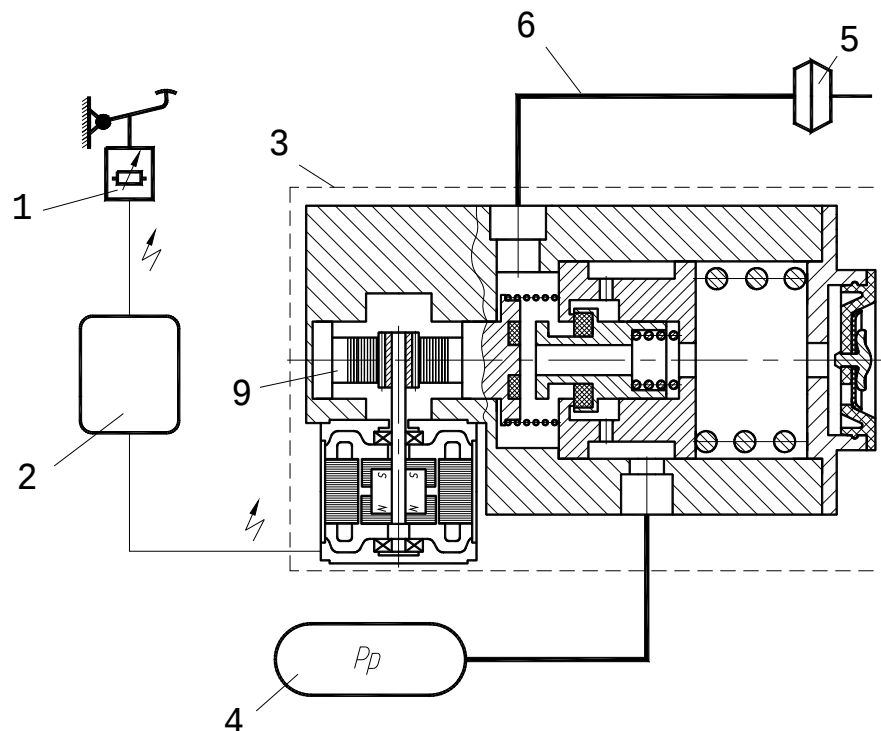


Рис. 2.7. Принципиальная схема контура ЭПТП с пропорциональным модулятором:

- 1 – подпедальный электрический модуль;
- 2 – электронный блок управления;
- 3 – пропорциональный модулятор;
- 4 – ресивер;
- 5 – тормозная камера тип 20;
- 6 – соединительный трубопровод длиной 1 м.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{sa}}{dt} = \frac{1}{L_{sa}} \cdot (u_{sa} - r_{sa} \cdot i_{sa} - C \cdot M \cdot \cos(\beta) + M \cdot i_{ra} \cdot \sin(\beta) \cdot w_r); \\ \frac{di_{sb}}{dt} = \frac{1}{L_{sb}} \cdot (u_{sb} - r_{sb} \cdot i_{sb} - Kr(*) \cdot M \cdot \cos(\beta) - M \cdot i_{ra} \cdot \sin(\beta) \cdot w_r); \\ \frac{di_{ra}}{dt} = Kr; \\ \frac{d\beta}{dt} = w_r; \\ \frac{dw_r}{dt^2} = \frac{p}{J} (M_e - M_c - k \cdot w_r). \end{array} \right. \quad (2.22)$$

где i_{sa}, i_{sb}, i_{ra} – токи в обмотках статора и ротора по осям a_s, b_s, a_y, A ;
 u_{sa}, u_{sb}, u_{ra} – напряжения на обмотках по осям a_s, b_s, a_y, B ;
 r_{sa}, r_{sb}, r_{ra} – активные сопротивления обмоток по осям $a_s, b_s, a_y, \text{Ом}$;
 $L_{sa}, L_{sb}, L_{ra} = L_{r0} + L_{r1} \times \cos(4 \times \beta)$ – индуктивности обмоток по осям $a_s, b_s, a_y, \text{Гн}$;
 M – взаимная индуктивность, Гн;
 β – угловое положение ротора, °;
 w_r – угловая скорость, об/мин;
 M_c – момент сопротивления, Н·м;
 M_e – электромагнитный момент, Н·м;
 J – момент инерции ротора, кг·м²;
 p – число пар полюсов.

В модели (2.22) используется следующее обозначение:

$$\begin{aligned} Kr = & (L_{sa} \cdot L_{sb} \cdot (L_{r0} + L_{r1} - 2 \cdot L_{r1} \cdot \sin^2(2 \cdot \beta)) - M^2 \cdot L_{sa} + \\ & + M^2 \cdot \cos^2(\beta) \cdot (L_{sa} - L_{sb}))^{-1} \cdot [L_{sa} \cdot L_{sb} \cdot (u_{ra} - r_{ra} \cdot i_{ra}) + \\ & + 4 \cdot L_{r1} \cdot w_r \cdot i_{ra} \cdot L_{sa} \cdot L_{sb} \cdot \sin(4 \cdot \beta) + M \cdot \sin(\beta) \cdot L_{sa} \cdot (r_{sb} \cdot i_{sb} - u_{sb}) + \\ & + M \cdot \cos(\beta) \cdot L_{sb} \cdot (r_{sa} \cdot i_{sa} - u_{sa})]. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Электромагнитный момент определен уравнением:

$$M_e = i_{ra} \cdot (M \cdot i_{sb} \cdot \cos(\beta) - M \cdot i_{sa} \cdot \sin(\beta) - 2 \cdot i_{sa} \cdot L_{r1} \cdot \sin(4 \cdot \beta)). \quad (2.24)$$

Напряжения u_{sa} , u_{sb} на обмотках статора шагового двигателя, как правило, формируют с помощью специальной электронной системы управления, выходные каскады которой строятся по мостовой или полумостовой схемам. Использование электронных схем отражается на переходных процессах в шаговом двигателе. Поэтому в модели (2.23) для каждой обмотки шагового двигателя необходимо учитывать условия (2.26) (для краткости условия приведены для одной обмотки, так как для второй – аналогичны).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } ga(t) = 1 \text{ то } u_{sa} = U; r_{sa} = r + 2 \cdot R_{ON}; \\ \text{если } (ga(t) = 0) \& (ga(t-h) = 1), \text{ то } \left\{ \begin{array}{l} \text{если } i_{sa} > 0 \text{ то } u_{sa} = -(E + 2 \cdot U_D); \\ r_{sa} = r + 2 \cdot R_{ON}; \\ \text{если } i_{sa} \leq 0 \text{ то } u_{sa} = 0; r_{sa} = R_{OFF}; \end{array} \right. \\ \text{если } ga(t) = -1 \text{ то } u_{sa} = -U; r_{sa} = r + 2 \cdot R_{ON}; \\ \text{если } (ga(t) = 0) \& (ga(t-h) = -1), \text{ то } \left\{ \begin{array}{l} \text{если } i_{sa} < 0 \text{ то } u_{sa} = E + 2 \cdot U_D; \\ r_{sa} = r + 2 \cdot R_{ON}; \\ \text{если } i_{sa} \geq 0 \text{ то } u_{sa} = 0; r_{sa} = R_{OFF}. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (2.25)$$

В соотношениях (2.25) приняты следующие обозначения:

$ga(t)$ – задание для формирователя импульсов ($ga(t) = 1$ – на обмотке положительный импульс тока или напряжения;

$ga(t) = 0$ – обмотка обесточена;

$ga(t) = -1$ – на обмотке отрицательный импульс тока или напряжения);

h – шаг интегрирования при решении уравнений модели (2.23);

U – напряжение источника электропитания;

U_D – прямое падение напряжения на диоде;

$R_{ON} \ll R_{OFF}$ – сопротивления открытого и закрытого транзисторного ключа (при этом считается время переключения транзисторов и диодов пренебрежимо малым по сравнению с длительностью управляющих импульсов).

На основе принципиальной схемы ЭПТП (рис. 2.7) составлена расчетная схема ЭПТП с пропорциональным модулятором (рис. 2.9).

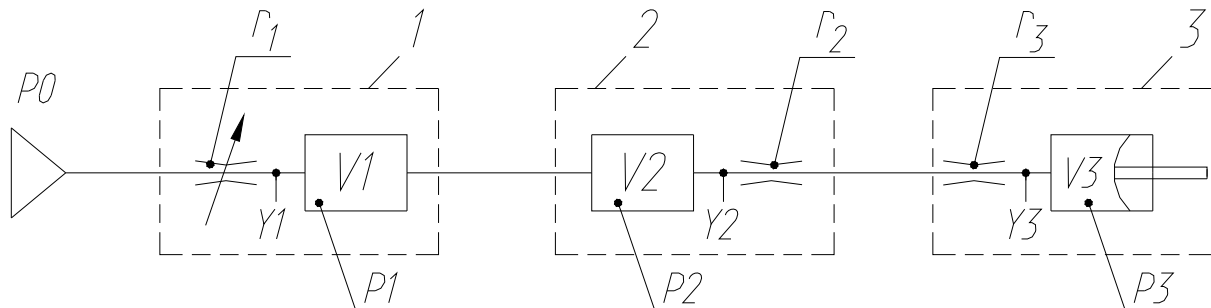


Рис. 2.9. Расчетная схема ЭПТС с пропорциональным модулятором:

1 – пропорциональный модулятор;

2 – соединительный трубопровод;

3 – тормозная камера;

V_1 – объем управляющей полости модулятора, м^3 ;

V_2 – объем полости соединительного трубопровода, м^3 ;

V_3 – объем тормозной камеры, м^3 ;

p_0 – давление в ресивере, МПа;

p_1 – давление в управляющей полости модулятора, МПа;

p_2 – давление в полости соединительного трубопровода, МПа;

p_3 – давление в тормозной камере, МПа.

При математическом описании динамики переходного процесса ЭПТП принят ряд допущений [76]:

- пневматическая цепь рассматривается как система с сосредоточенными параметрами;

- температура воздуха в емкостях принимается одинаковой и постоянной за время переходного процесса;
- давление воздуха в ресивере p_0 не изменяется за время переходного процесса;
- отсутствуют утечки из пневмосистемы;

Динамическая характеристика наполнения звеньев дроссель-емкость (ДЕ) описывается системой дифференциальных уравнений газодинамических функций, которая в общем случае имеет вид [76-78]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dp_1}{dt} &= \frac{k \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot V_{кр} \cdot p_0}{V_1} \cdot \frac{A(p_0 - p_1)}{B \cdot p_0 - p_1} - \frac{k \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot V_{кр} \cdot p_1}{V_1} \cdot \frac{A(p_1 - p_2)}{B \cdot p_1 - p_2} - \\ &\quad - \frac{k \cdot \mu_3 \cdot f_3 \cdot V_{кр} \cdot p_2}{V_1} \cdot \frac{A(p_2 - p_3)}{B \cdot p_2 - p_3}, \\ \frac{dp_2}{dt} &= \frac{k \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot V_{кр} \cdot p_1}{V_2} \cdot \frac{A(p_1 - p_2)}{B \cdot p_1 - p_2} - \frac{k \cdot \mu_3 \cdot f_3 \cdot V_{кр} \cdot p_2}{V_2} \cdot \frac{A(p_2 - p_3)}{B \cdot p_2 - p_3}, \\ \frac{dp_3}{dt} &= \frac{\mu_3 \cdot f_3 \cdot V_{кр} \cdot p_2}{V_3} \cdot \frac{A(p_2 - p_3)}{B \cdot p_2 - p_3} - \\ &\quad - \frac{F^2}{C_{ПП}} \left(1 + \frac{1}{k} \right) \cdot p_3 + \left(V_0 - \frac{F^2}{C_{ПП}} \cdot p_3 \right), \\ f_1 &= \pi D_{ВП} \cdot \left(\frac{\pi \cdot r_u \cdot \beta}{180^\circ} - h_{II} \right); \\ h_{II} &= \frac{(p_1 - p_{нач}) S_{II} + F_{зол} - F_{ТР}}{C_{ПП}}. \end{aligned} \right. \quad (2.26)$$

где k – показатель адиабаты, $k = 1.4$;

μ_1 – коэффициент расхода пневмосопротивления клапана модулятора;

μ_2 – коэффициент расхода пневмосопротивления трубопровода;

μ_3 – коэффициенты расхода пневмосопротивления тормозной камеры;

f_1 – площадь поперечного сечения клапана модулятора, m^2 ;

f_2 – площадь поперечного сечения трубопровода, m^2 ;

f_3 – площадь поперечного сечения тормозной камеры, m^2 ;

$V_{кр}$ – критическая скорость, $V_{кр} = \sqrt{kRT}$;

R – газовая постоянная, для воздуха, $R = 287,14 \text{ м}^2/(\text{с}^2 \cdot \text{К})$;

T – абсолютная температура воздуха перед дросселем, К;

A и B – коэффициенты аппроксимации газодинамических функций,
 $A = 0,654$, $B = 1,13$;

F_2 – функция площади диафрагмы тормозной камеры;

$C_{ПР}$ – жесткость пружины, Н/мм;

V_0 – начальный объем тормозной камеры, м³;

$D_{ВП}$ – диаметр впускного клапана, м;

$D_{ВЫП}$ – диаметр выпускного клапана, м;

$r_{ш}$ – радиус шестерни ШЭД, м;

$h_{П}$ – перемещение пневмопоршня, м;

$p_{нач}$ – давление при котором начинает перемещаться пневмопоршень, МПа;

$S_{П}$ – площадь пневмопоршня, м²;

$F_{Зол}$ – сила действующая на пневмопоршень, Н;

$F_{тр}$ – сила трения между пневмопоршнем и корпусом, Н.

Динамическая характеристика в случае опорожнения описывается аналогичной системой дифференциальных уравнений газодинамических функций:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dp_1}{dt} &= -\frac{k \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot V_{кр} \cdot p_1}{V_1} \cdot \frac{A(p_1 - p_0)}{B \cdot p_1 - p_0} + \frac{k \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot V_{кр} \cdot p_2}{V_1} \cdot \frac{A(p_2 - p_1)}{B \cdot p_2 - p_1} + \\ &+ \frac{k \cdot \mu_3 \cdot f_3 \cdot V_{кр} \cdot p_3}{V_1} \cdot \frac{A(p_3 - p_2)}{B \cdot p_3 - p_2}, \\ \frac{dp_2}{dt} &= \frac{k \cdot \mu_3 \cdot f_3 \cdot V_{кр} \cdot p_3}{V_2} \cdot \frac{A(p_3 - p_2)}{B \cdot p_3 - p_2} - \frac{k \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot V_{кр} \cdot p_2}{V_2} \cdot \frac{A(p_2 - p_1)}{B \cdot p_2 - p_1}, \\ \frac{dp_3}{dt} &= -\frac{\mu_3 \cdot f_3 \cdot V_{кр} \cdot p_3}{V_3} \cdot \frac{A(p_3 - p_2)}{B \cdot p_3 - p_2}; \\ &\frac{F^2}{C_{ПР}} \left(1 + \frac{1}{k} \right) \cdot p_3 + \left(V_0 - \frac{F^2}{C_{ПР}} \cdot p_3 \right); \\ f_1 &= \pi D_{ВЫП} \cdot \left(\frac{\pi \cdot r_{ш} \cdot \beta}{180^\circ} - h_{П} \right); \\ h_{П} &= \frac{(p_1 - p_{нач}) S_{П} - F_{ТР}}{C_{ПР}}. \end{aligned} \right. \quad (2.27)$$

Расчетная динамическая характеристика контура ЭПТП с пропорциональным модулятором представлена на рис. 2.10.

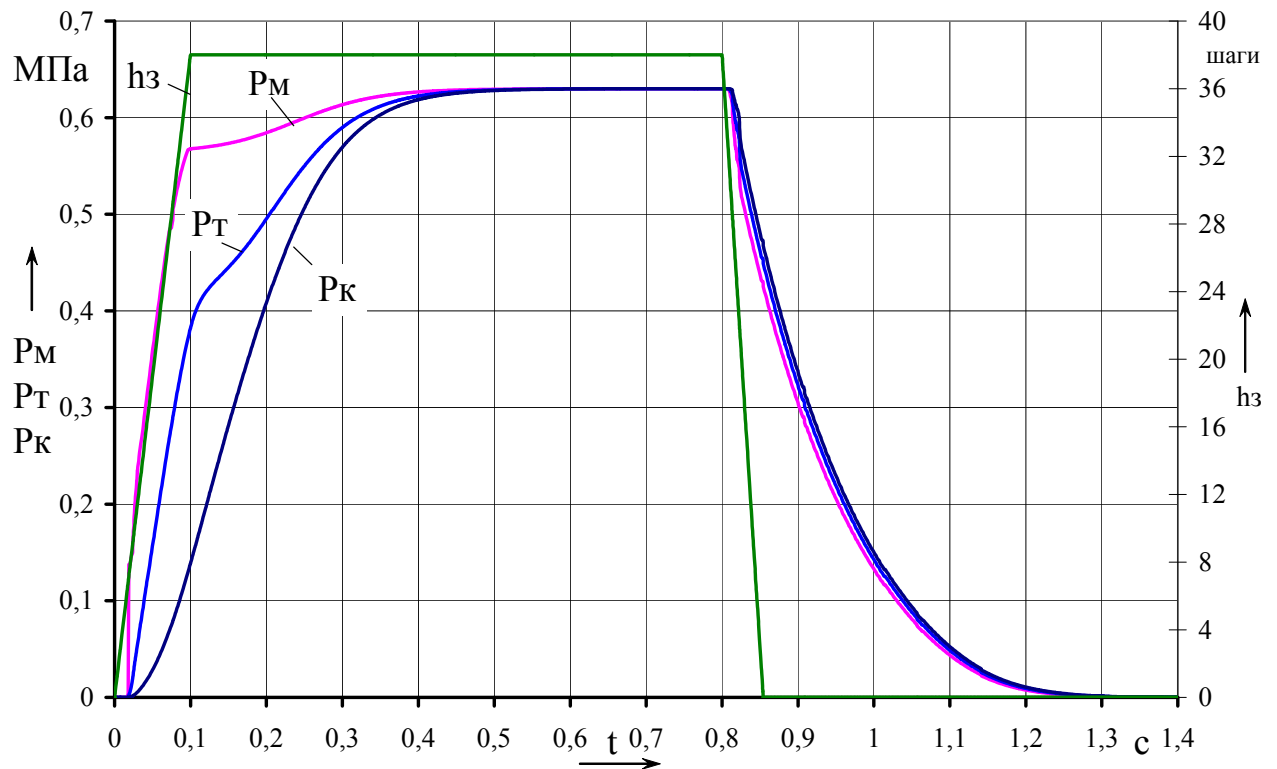


Рис. 2.10. Расчетная динамическая характеристика контура ЭПТП с пропорциональным модулятором:

h_3 – перемещение золотника;

P_M – давление в модуляторе;

P_T – давление в трубопроводе;

P_K – давление в тормозной камере;

t – время.

Из рис. 2.10 и 2.11 видно, что в начале движения золотника закрывается выпускной клапан, (участок АБ рис. 2.11), при этом давление в приводе остается равным нулю, при рабочей частоте ШЭД 380 шагов/с. выпускной клапан закрывается за 0.03 с. Затем открывается впускной клапан (участок БВ

рис. 2.11 происходит перемещение только шток 9 рис. 2.3, на участке ВГ происходит совместное перемещение шток 9 и пневмопоршня 15 (рис. 2.3) и через 0,07 с. он полностью открывается и золотник занимает своё крайнее положение.

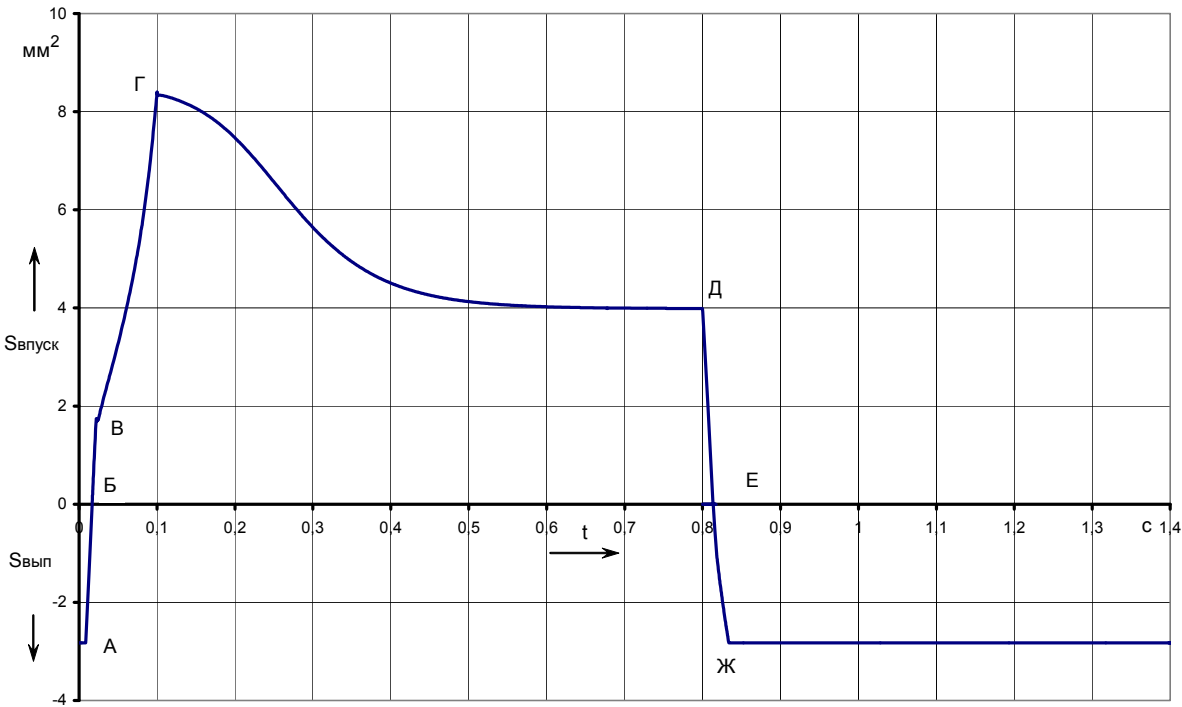


Рис. 2.11. Динамическое изменение проходного сечения клапанов в пропорциональном модуляторе:

$S_{\text{впуск}}$ — изменение площади впускного клапана;
 $S_{\text{вып}}$ — изменение площади выпускного клапан.

В дальнейшем происходит перемещение пневмопоршня 15 (рис. 2.3) (участок ГД рис. 2.11), но полного закрытия впускного клапана не происходит в следствии того, что начальные условия по давлению принимались равными 6.5 МПа и давления воздуха недостаточно для закрытия впускного клапана. При опорожнении тормозной камеры происходит закрытие впускного клапана (участок ДЕ рис. 2.11) и происходит открытие выпускного клапана (участок ЕЖ рис. 2.11), и также как и при наполнении сначала начинает перемещаться шток 9, а затем пневмопоршень 15, но в следствии того что шток 9 перемещается

значительно быстрее, то выпускной клапан почти все время открыт на максимально возможную величину.

Полученные результаты свидетельствуют о возможностях разработанной математической модели при определении параметров пропорционального модулятора на базе ШЭД.

Последующие экспериментальные исследования контура ЭПТС с пропорциональным модулятором глава 4 позволили оценить адекватность математической модели. Кроме оценки адекватности математической модели, при выполнении экспериментального исследования были получены реальные значения параметров рабочего процесса разработанного контура ЭПТС с пропорциональным модулятором и выявлено влияние их на рабочий процесс:

- рабочей частоты ШЭД;
- пороговых значений принимаемых для управления процессом качения колеса при экстренном торможении.

Выводы по разделу

1. Впервые установлена функциональная взаимосвязь между шагами шагового электродвигателя и запорно-регулирующего элемента пропорционального модулятора обеспечивающего пропорциональность положением ротора шагового электродвигателя и давлением в тормозной камере. Для обеспечения точности регулирования давления в тормозной камере равное 0,02 МПа, необходимо обеспечить рабочий ход ЗРЭ равным 5 мм с дискретностью перемещения ЗРЭ 0,157 мм, что соответствует 38 шагам шагового электродвигателя с углом поворота ротора при одном шаге $1,8^\circ$.

2. При определении потребного момента на валу шагового электродвигателя было установлено, при повышении быстродействия пропорционального модулятора момент растёт не линейно, в связи с этим обстоятельством создавать модуляторы с шаговыми электродвигателями со

временем полного хода ЗРЭ выше 0.05 с. не рационально т.к. необходимо применять мощный шаговый электродвигатель.

3. Решение аналитических зависимостей позволило установить, что пропорциональный модулятор с шаговым электродвигателем обеспечивает время срабатывания привода за 0,3 с. Для обеспечения такого время срабатывания достаточно времени полного хода запорно-регулирующего элемента 0,1 с., что соответствует рабочей частоте шагового электродвигателя 380 Гц.

4. Основные научные результаты раздела опубликованы в работах [2], [4], [5].

РАЗДЕЛ 3.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО МОДУЛЯТОРА С ПРИВОДОМ ОТ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

3.1. Описание конструкции исследуемой электронно-пневматической тормозной системы

Для проведения экспериментальных исследований с целью подтверждения теоретических исследований предложена следующая структурная схема контура ЭПТС, представленная на рис. 3.1, которая является одним контуром «перспективной» ЭПТС (рис. 1.8).

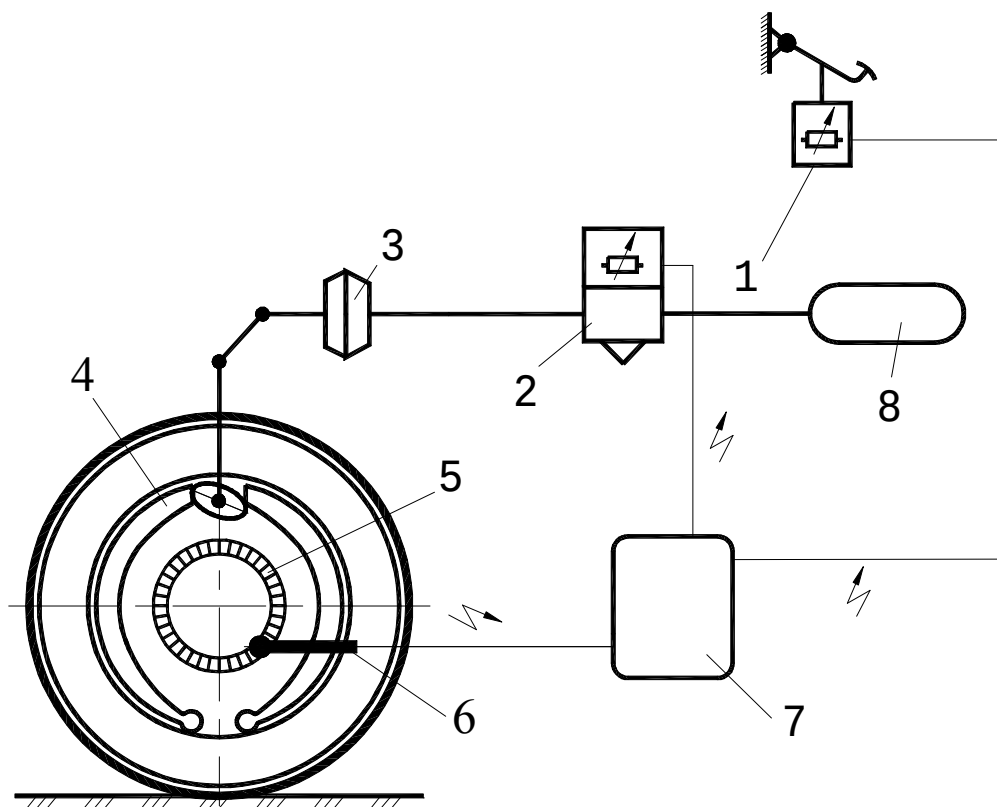


Рис. 3.1. Структурная схема контура ЭПТС:

- 1- педаль тормоза с датчиком положения педали;
- 2- пропорциональный модулятор со встроенным датчиком положения ЗРЭ;

- 3- тормозная камера;
- 4 - тормозной механизм;
- 5 - импульсное колесо (индуктор);
- 6- датчик угловой скорости;
- 7 - электронный блок управления;
- 8 – ресивер.

Приведенная структурная схема на рис. 3.1 контура ЭПТС была практически реализована в лаборатории кафедры автомобилей ХНАДУ с использованием большого инерционного стенда.

В качестве органа управления использован модуль педальный КДБА.453621.001ТУ [79]. Модуль педальный предназначен для формирования сигналов положения педали акселератора в системе управления семейства дизельных двигателей ГАЗ-560. Модуль педальный не требует технического обслуживания и регулировок в процессе эксплуатации.

Таблица 3.1

**Основные технические характеристики модуля педального
КДБА.453621.001ТУ**

Масса модуля, не более	0,6 кг
Максимальное усилие, прикладываемое к педали, не более	50 кгс
Номинальное напряжение питания	5В ± 0,25В
Функциональная характеристика потенциометра	линейная
Режим работы продолжительный	S1 по ГОСТ 3940
Степень защиты	IP55 по ГОСТ 14254

Модуль педальный содержит два потенциометра. Это необходимо для обеспечения возможности контроля достоверности информации, которую выдает орган управления, и блок управления может обеспечить его диагностику.

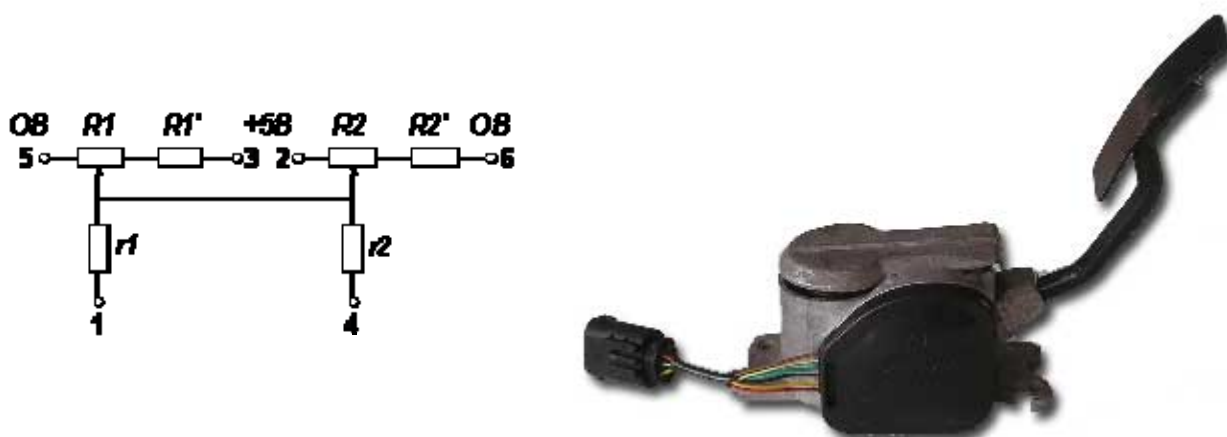


Рис. 3.2. Общий вид модуля педального КДБА.453621.001ТУ и его принципиальная электрическая схема.

В виду того, что вероятность одновременного выхода из строя двух потенциометров очень мала, один потенциометр обеспечивает диагностику другого. На рис. 3.3 показана функциональная характеристика потенциометра, из которой видно, что один потенциометр имеет линейную характеристику от 0В до 5В, а другой также линейную от 5В до 0В. Это необходимо для обеспечения диагностики модуля педального. Диагностика производится следующим образом. При повороте педали на определённый угол всегда будет соответствие выдаваемых сигналов, но если по какой-либо причине это соответствие нарушается, то это нарушение фиксируется блоком управления. В зависимости от текущего состояния всей системы управления, в обязательном порядке, водителю подаётся сигнал о неисправности (световой, звуковой). Также возможно блокирование системы пуска двигателя и производится глушение двигателя, в случае если транспортное средство ещё не начало движение. Таким образом, обеспечивается высокая устойчивость всей системы управления, а также положительно сказывается на её надежности.

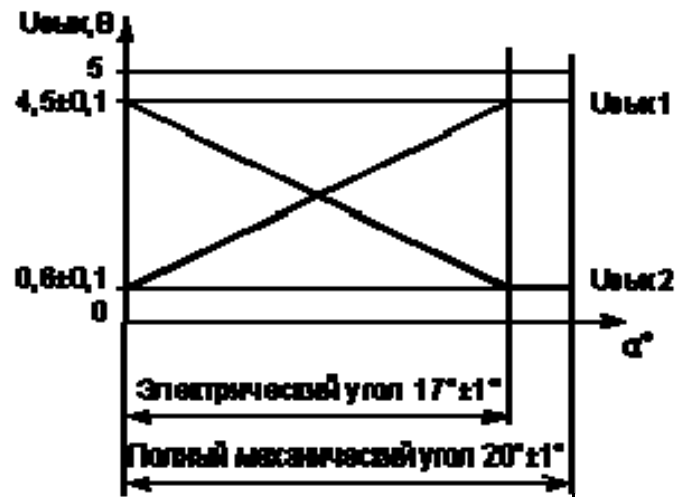


Рис. 3.3. Функциональная характеристика потенциометра модуля педального КДБА.453621.001ТУ.

В качестве модулятора использован пропорциональный модулятор собственной разработки [7, 8], представленный на рис. 3.4, 3.5.

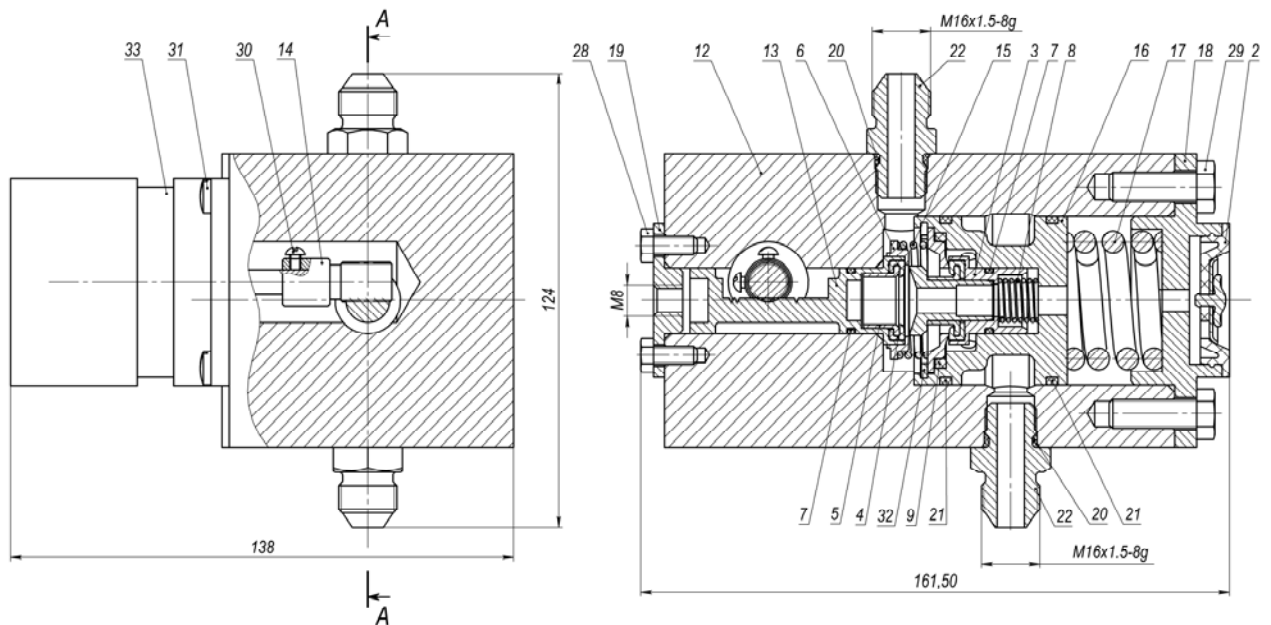


Рис. 3.4. Конструкция макетного образца пропорционального модулятора.



Рис. 3.5. Общий вид макетного образца пропорционального модулятора.

Принцип действия пропорционального модулятора (рис. 3.4, 3.5) в составе контура ЭПТС поясняется рис. 3.6.

В исходном состоянии (при обесточенном шаговом двигателе в модуляторе) за счет пружины 11 пневмоклапан 12 открыт, связывая исполнительный орган (тормозную камеру) с атмосферой через выходной канал 13 и осевое отверстие 14 в пневмоклапане 17. При этом за счет пружины 16 пневмоклапан 17 - закрыт. При нажатии на педаль тормоза от подпедального электрического модуля (датчика положения педали) 1 (рис. 3.1) электрический сигнал поступает на электронный блок 7 (рис. 3.1), который определяет и передает необходимое число импульсов на шаговые двигатели. В результате происходит перемещение золотника 18, в модуляторах, вправо, это приводит к посадке пневмоклапана 12 на седло 19, при этом происходит отсоединение тормозной камеры от атмосферы. Дальнейшее перемещение золотника 18 приводит к открытию пневмоклапана 17 и перепуску сжатого воздуха от ресивера через входной канал 20, пневмоклапан 17, выходной канал 13 в тормозную камеру.

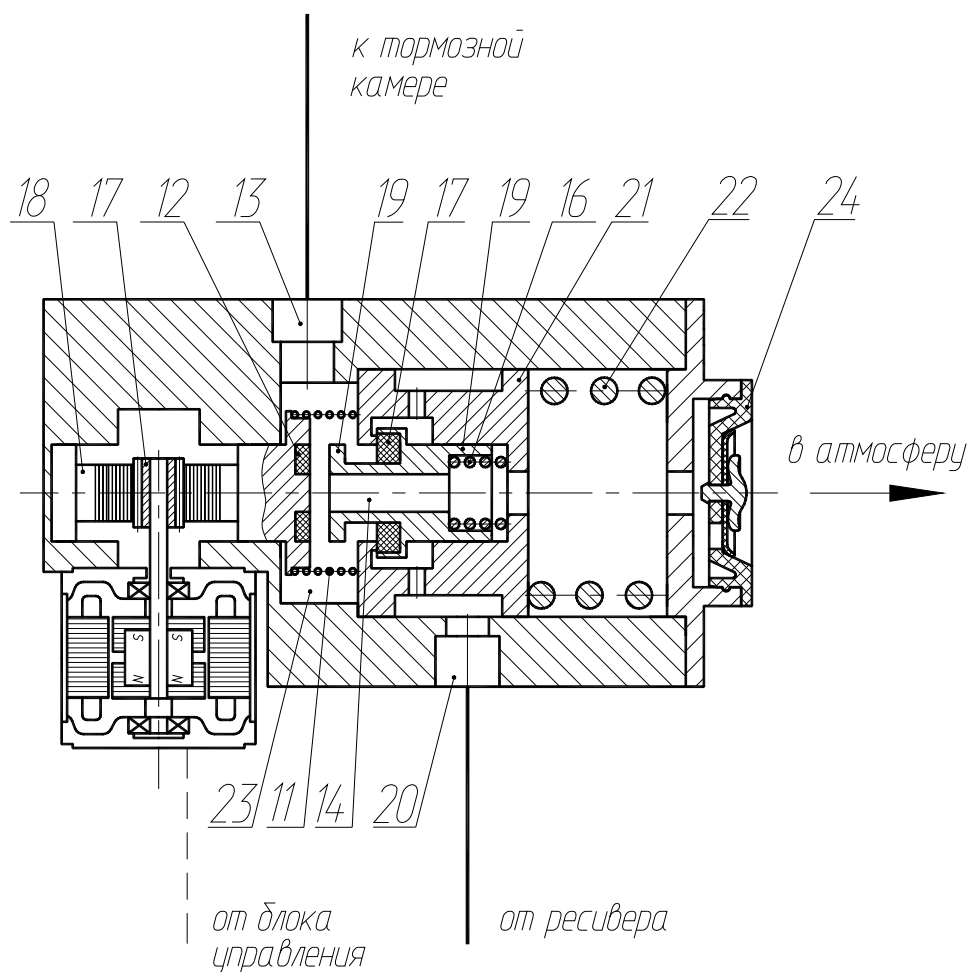


Рис. 3.6. Схема работы контура ЭПТС с пропорциональным модулятором.

Таким образом, в начальный момент времени золотник 18 и поршень 19 перемещаются совместно, при этом за счет пружины 22 пневмопоршень 21 остается неподвижным. Возрастающее давление в полости 23, равное давлению в тормозной камере приводит к движению пневмопоршня 21, сжимая пружину 22.

Угол поворота ротора шагового двигателя определяется количеством поданных на него управляющих импульсов. Таким образом, при нажатии на педаль на определенную величину подпедальный электрический модуль (датчик положения педали) 1 (рис. 3.1) передает определенную величину электрического сигнала электронному блоку управления 7 (рис. 3.1), который рассчитывает количество импульсов, и подаёт на шаговый электродвигатель, чтобы установить давление воздуха в тормозной камере пропорционально

нажатию на педаль тормоза. Отработав необходимые импульсы, поданные от электронного блока управления 7 (рис. 3.6), шаговый двигатель останавливается, при этом золотник 18 и поршень 19 так же останавливаются, а пневмопоршень 21 продолжает движение, под действием давления сжатого воздуха, до тех пор, пока седло пневмоклапана 17, выполненное в пневмопоршне 21, сядет на пневмоклапан 17, выполненный на поршне 19, тем самым, перекрывая входной канал 20, связанный с ресивером сжатого воздуха. Так перемещение запорно-регулирующего устройства (пневмоклапана 12 и пневмоклапана 17) приводит к установлению давления воздуха тормозной камеры пропорционально нажатию на педаль тормоза, тем самым, обеспечивая повышение качества регулирования процесса торможения транспортных средств, оборудованных электронно-пневматической тормозной системой.

Работа электронно-пневматической тормозной системы в режиме выполнения функций антиблокировочной системы тормозов транспортного средства состоит в следующем.

При установившемся давлении воздуха в тормозной камере пропорционально нажатию на педаль тормоза, пневмоклапаны 12 и 17 закрыты, а пневмопоршень 21 смещен вправо, от начального положения, на определенное расстояние. В случае возникновения вероятности блокирования колес транспортного средства, блок управления 7 (рис. 3.6) по датчикам угловой скорости колес 6 (рис. 3.6) определяет количество импульсов, которое необходимо подать на шаговый электродвигатель, чтобы сбросить определенную порцию воздуха из тормозной камеры тем самым, предотвратив блокирование колес. Подача импульсов на шаговый электродвигатель приводит к перемещению золотника 18 влево, что приводит к открытию пневмоклапана 12, связанного через осевое отверстие 14 с атмосферой. Таким образом, происходит сброс сжатого воздуха из тормозной камеры. Отработав определенное количество импульсов (заданное электронным блоком управления 7 (рис. 3.1)) шаговый электродвигатель останавливается. При этом снижение давления в тормозной камере приводит к снижению давления в

полости 23, что в свою очередь приводит к снижению силы действующей на пневмопоршень 21, а как следствие, его перемещением в след за золотником 18 за счет пружины 16, до того момента пока пневмоклапан 12 закроется и силы действующей на пневмопоршень 21 от давления воздуха и пружины 22 уравниваются, то есть давление на выходе модулятора и в исполнительном органе становятся одинаковыми. Таким образом, обеспечивается качение колеса без блокирования при торможении, что повышает управляемость и устойчивость в целом транспортного средства.

При отпускании тормозной педали электропитание шагового электродвигателя прекращается. Под действием пружины 11 золотник с пневмоклапаном 12 возвращаются влево в исходное положение, при этом происходит открытие отверстия 14, через которое сжатый воздух из тормозной камеры выходит через выпускное окно 24 в атмосферу.

Контроль над текущим состоянием колеса обеспечивает датчик частоты вращения колеса (ДЧВК) АДЮИ.407111.003МЧ (рис. 3.7) [80].

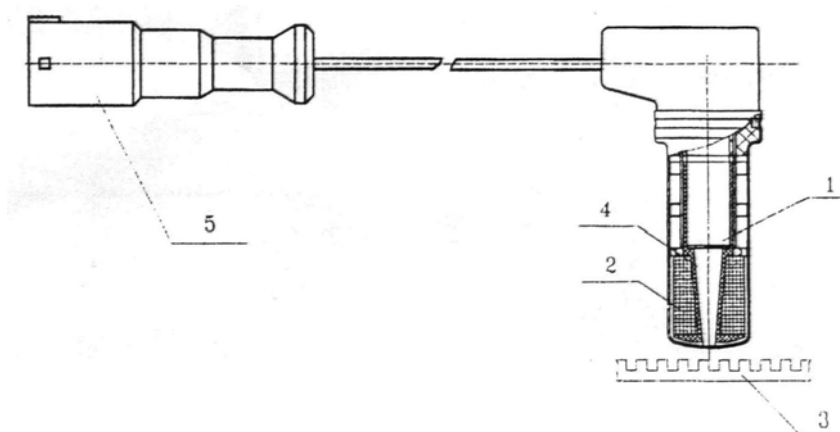


Рис. 3.7. Датчик частоты вращения АДЮИ.407111.003МЧ:

- 1 – магнит;
- 2 – обмотка;
- 3 – зубчатое колесо;
- 4 – концентратор;
- 5 – кабель с разъемом.

Технические характеристики датчика:

- режим работы продолжительный номинальный S1 по ГОСТ 3940-84;
- электрическое сопротивление датчика – $(1,3 \pm 0,1)$ кОм;
- диапазон угловых скоростей зубчатого ротора от 0,17 до 12 об/с при (2-140) км/ч;
- датчик обеспечивает амплитуду выходного сигнала при угловой скорости ротора 0,17 об/с, сопротивлении нагрузки 1 Мом и воздушном зазоре между торцом датчика и зубцом ротора $(0,7 \pm 0,01)$ мм не меньше 0,35 В. При зазоре до 1 мм уменьшение амплитуды не составляет больше 30% от амплитуды при зазоре 0,7 мм;
- рабочий зазор между торцом датчика и зубцом ротора от 0,5 до 1,2 мм;
- диапазон рабочих температур от минус 40°C до плюс 125°C.

Совместно с датчиком частоты вращения было использованное зубчатое колесо, разработанное по методике предложенной фирмой «KNORR-BREMSE» [81].

Таблица 3.2

Характеристики зубчатого колеса

Обоз.	Наименование	Номинальный размер	Допустимые отклонения
z	Число зубьев	100	—
t	Шаг	9	—
t _p	Погрешность шага	3,6	$\pm 5'$
T _p	Суммарная погрешность шага	3,6	$\pm 5'$
c/t	Отношение воздушного зазора к шагу	0,5	—
h	Высота зуба	3 мм	± 0.2 мм
c	Воздушный зазор	4,5 мм	± 0.1 мм
b	Ширина колеса	12 мм	± 0.2 мм
α	Угол зацепления	0°	$\pm 0.1^\circ$
R _A	Радиус вершины зуба	286 мм	± 0.05 мм
R _C	Радиус основания зуба	280 мм	± 0.05 мм
	Форма зуба	прямоугольная	—
a	Радиальное биение	< 0,1 мм	—

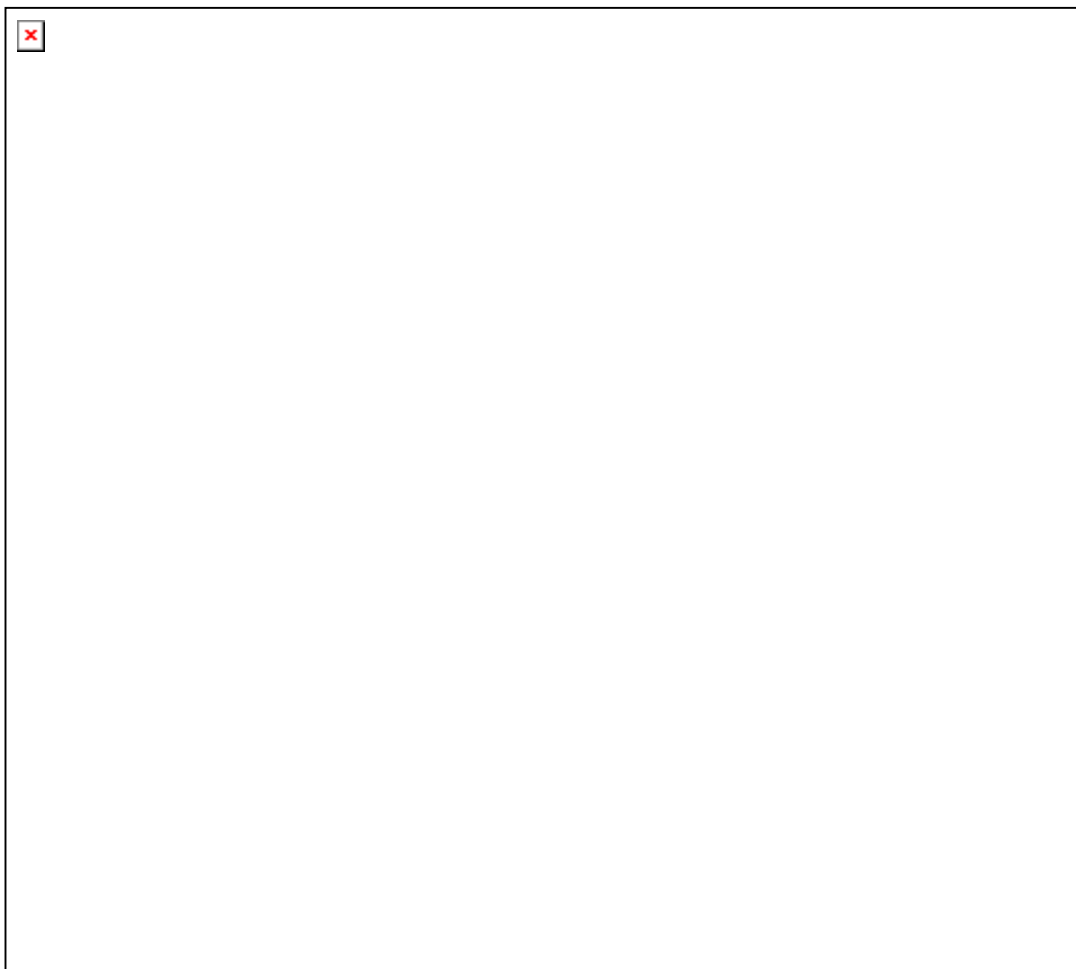


Рис. 3.8. Геометрические размеры зубчатого колеса.

Управление контуром ЭПТС обеспечивает электронный блок управления общий вид которого представленный на рис. 3.9.

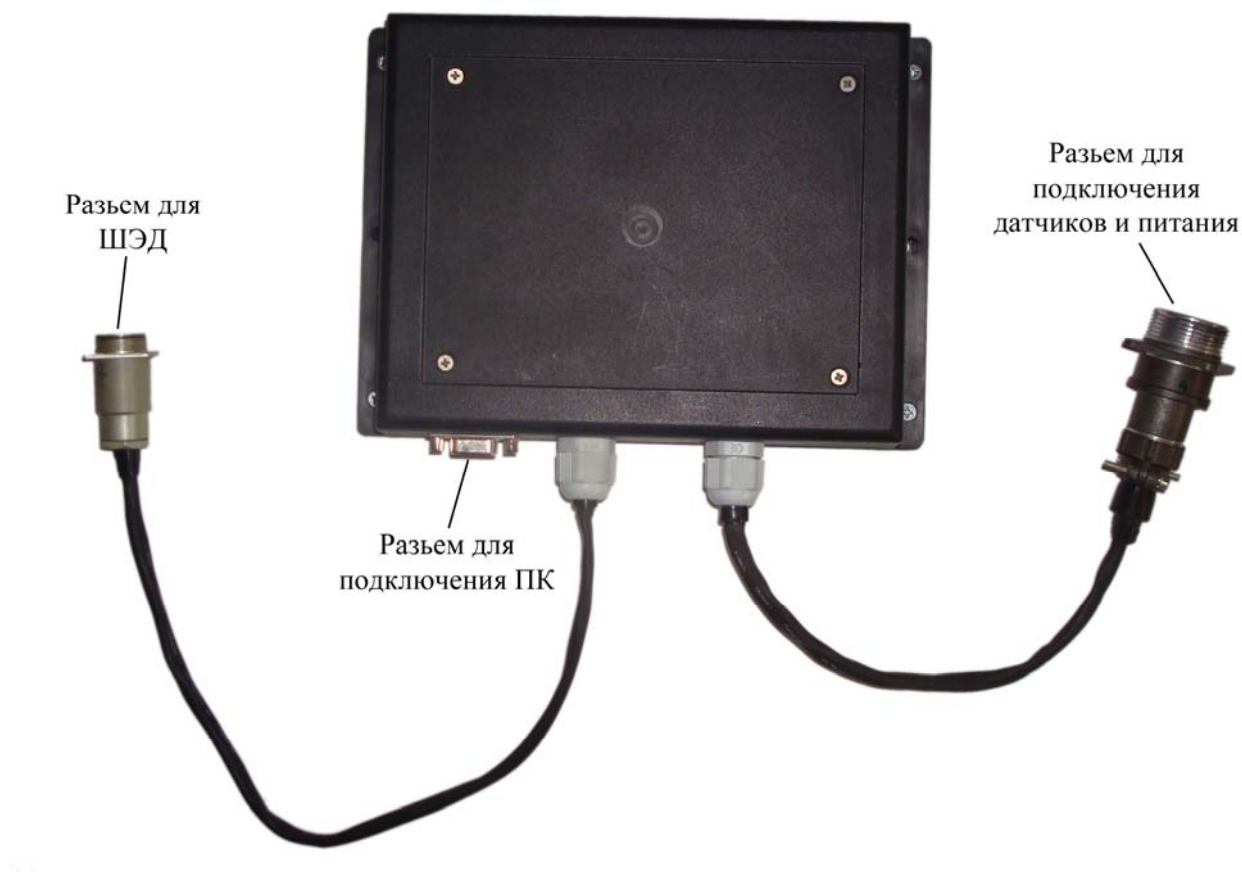


Рис. 3.9. Общий вид электронного блока управления.

Блок управления рис. 3.9 состоит из следующих модулей:

- формирователь импульсов от индуктивного датчика «АДЮИ»;
- усилитель сигнала датчика «КДБА»;
- аналого-цифрового преобразователя «АЦП»;
- модуль управления шаговым электродвигателем;
- модуля USB.

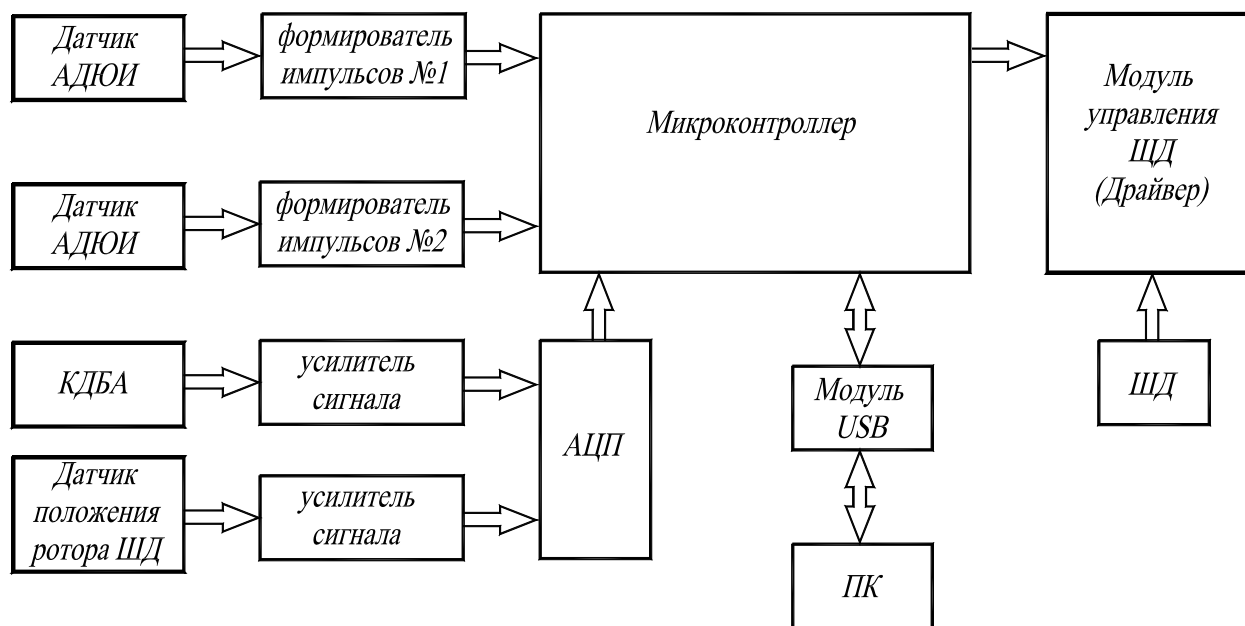


Рис. 3.10. Структурная схема блока управления контуром ЭПТС.

Формирователи импульсов от датчика «АДЮИ» предназначены для преобразования сигнала от индуктивного датчика, который установлен на зубчатый диск колеса, в сигнал прямоугольной формы с цифровыми уровнями для последующей выдачи их на микроконтроллер.

Усилитель сигнала датчика «КДБА» предназначен для усиления сигнала подаваемого от датчика КДБА до требуемой величины ($0 \div 2,5$) В и подачи его на аналого-цифровой преобразователь.

АЦП – 12 разрядный аналого-цифровой преобразователь предназначен для преобразования аналогового сигнала в цифровой код.

Модуль управления шаговым двигателем (ШД) предназначен для выдачи управляющих импульсов на обмотки ШД.

Модуль USB предназначен для приема и передачи данных от микроконтроллера в персональный компьютер (ПК).

Микроконтроллер предназначен для реализации алгоритма управления. Микроконтроллер состоит из арифметико-логического устройства (АЛУ), оперативной памяти (ОЗУ), постоянной Flash памяти (ПЗУ), двух программных 16-ти разрядных таймеров, устройства связи с модулем USB. Законы и

алгоритмы работы микроконтроллера располагаются в ПЗУ, так же в ПЗУ находятся настроечные коэффициенты и константы. Данные о временах срабатывания датчиков «АДЮИ», код АЦП (значение датчика КДБА) расположены в ОЗУ.

Настроечные коэффициенты и константы можно изменять с помощью ПК через интерфейсную программу (рис. 3.11).

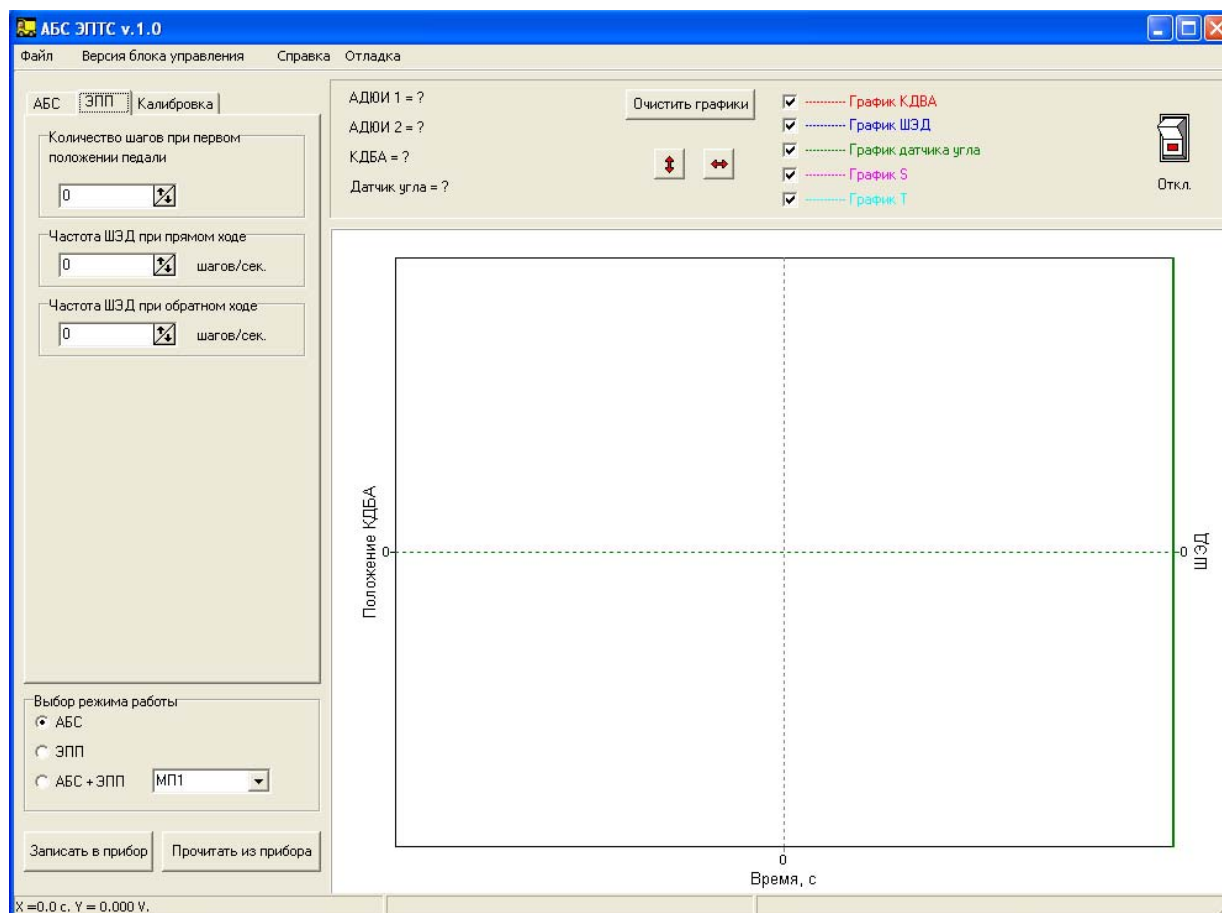


Рис. 3.11. Общий вид интерфейсной программы.

С помощью интерфейсной программы можно получать текущие значения: положения педали, скорости колеса и рассчитанного порогового значения, а также положение вала ШЭД, которые выдает блок управления и текущее положение вала ШЭД, что значительно облегчает отработку алгоритма управления. Данные в ПК представлены в цифровом и в графическом виде.

3.2. Выбор шагового электродвигателя и его параметров

Шаговый электродвигатель – это электромеханическое устройство, которое преобразует электрические импульсы в дискретные механические перемещения [62, 69 – 71, 82]. Шаговые двигатели обладают некоторыми уникальными свойствами, что делает порой их исключительно удобными для применения или даже незаменимыми.

К преимуществам шаговых двигателей можно отнести:

- угол поворота ротора определяется числом импульсов, которые поданы на двигатель;
- двигатель обеспечивает полный момент в режиме остановки (если обмотки запитаны);
- прецизионное позиционирование и повторяемость. Современные шаговые двигатели имеют точность 3-5% от величины шага. Эта ошибка не накапливается от шага к шагу;
- возможность быстрого старта/остановки/реверсирования;
- высокая надежность, связанная с отсутствием щеток, срок службы шагового двигателя, фактически определяется сроком службы подшипников;
- однозначная зависимость положения от входных импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи;
- возможность получения очень низких скоростей вращения для нагрузки, присоединенной непосредственно к валу двигателя без промежуточного редуктора;
- может быть перекрыт довольно большой диапазон скоростей, скорость пропорциональна частоте входных импульсов.

Недостатками шаговых двигателей являются:

- шаговым электродвигателям присуще явление резонанса;
- возможна потеря контроля положения ввиду работы без обратной связи;
- потребление энергии не уменьшается даже без нагрузки;
- затруднена работа на высоких скоростях;

- невысокая удельная мощность;
- относительно сложная схема управления;
- высокая цена.

Существуют три основных типа шаговых электродвигателей:

- двигатели с переменным магнитным сопротивлением;
- двигатели с постоянными магнитами;
- гибридные двигатели.

В настоящий момент основная масса шаговых электродвигателей являются гибридными. Гибридные электродвигатели являются более дорогими, зато они обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость. Типичное число шагов на оборот для гибридных электродвигателей составляет от 100 до 400 (угол шага $3.6 - 0.9$ град.). Гибридные электродвигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами. Схема гибридного двигателя представлена на рис. 3.12.

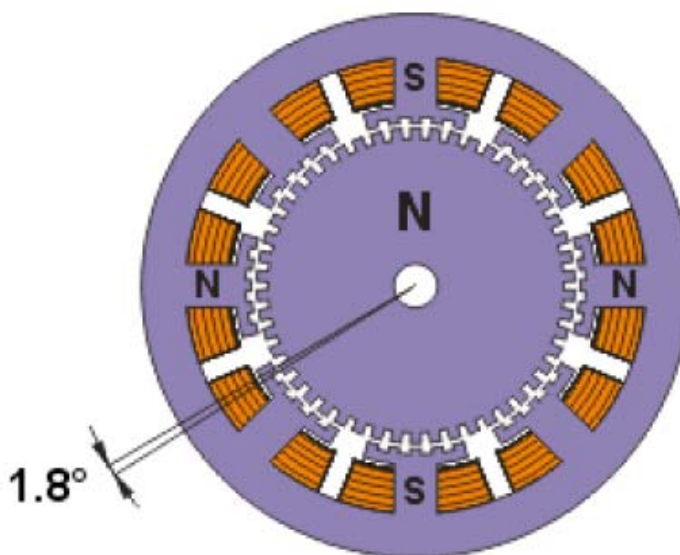


Рис. 3.12. Схема гибридного шагового электродвигателя.

Ротор разделен на две части, между которыми расположен цилиндрический постоянный магнит. Таким образом, зубцы верхней половины ротора являются северными полюсами, а зубцы нижней половины – южными. Кроме того, верхняя и нижняя половины ротора повернуты друг относительно друга на половину угла шага зубцов. Число пар полюсов ротора равно количеству зубцов на одной из его половинок. Зубчатые полюсные наконечники ротора, как и статор, набраны из отдельных пластин для уменьшения потерь на вихревые токи. Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большое количество эквивалентных полюсов, в отличие от основных полюсов, на которых расположены обмотки. Обычно используются 4 основных полюса для 3.6 град. двигателей и 8 основных полюсов для 1.8- и 0.9 град. двигателей. Зубцы ротора обеспечивают меньшее сопротивление магнитной цепи в определенных положениях ротора, что улучшает статический и динамический момент. Это обеспечивается соответствующим расположением зубцов, когда часть зубцов ротора находится строго напротив зубцов статора, а часть между ними.

В зависимости от конфигурации обмоток гибридные шаговые двигатели делятся на биполярные и униполярные.

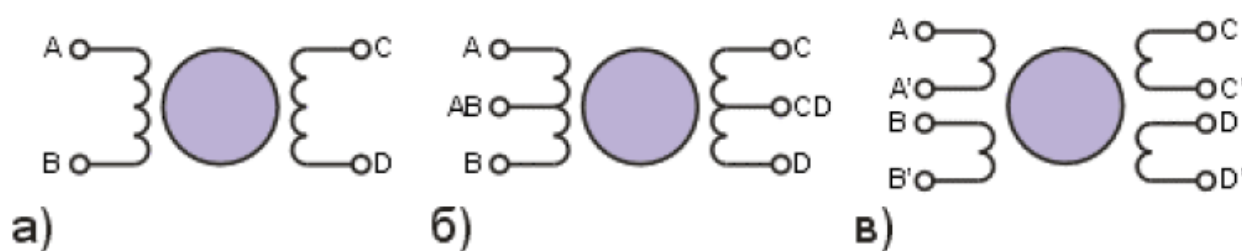


Рис. 3.13. Конфигурации гибридных шаговых электродвигателей: биполярный двигатель (а), униполярный (б) и универсальный (в).

В униполярном двигателе в каждый момент времени используется лишь половина обмоток. Другая половина просто занимает место в окне сердечника, что вынуждает делать обмотки проводом меньшего диаметра. В то же время в

биполярном двигателе всегда работают все обмотки, т.е. их использование оптимально. В таком электродвигателе сечение отдельных обмоток вдвое больше, а омическое сопротивление – соответственно вдвое меньше. Это позволяет увеличить ток в корень из двух раз при тех же потерях, что дает выигрыш в моменте примерно 40% при одних и тех же размерах.

Поведение момента при увеличении частоты коммутации фаз примерно таково: начиная с некоторой частоты момент монотонно падает. Обычно для шагового электродвигателя приводятся две кривые зависимости момента от скорости рис. 3.14.

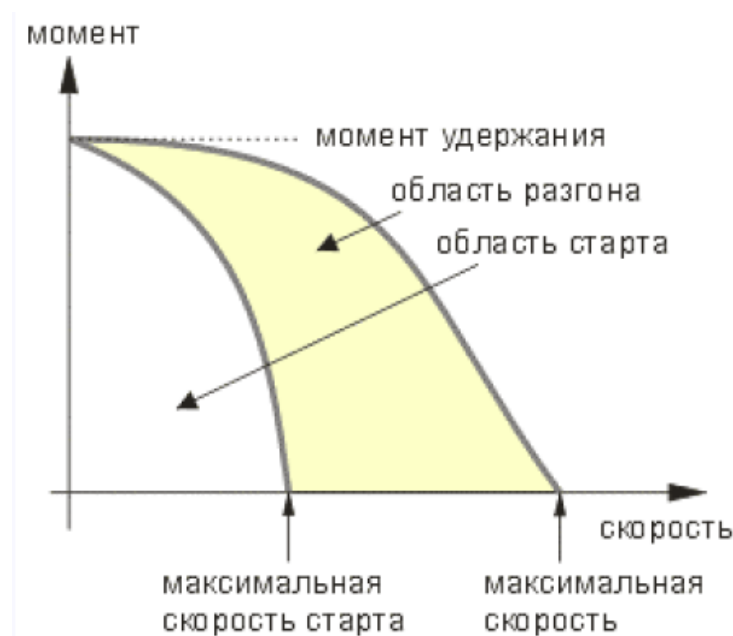


Рис. 3.14. Зависимость момента от скорости шагового электродвигателя.

Внутренняя кривая (кривая старта, или pull-in curve) показывает, при каком максимальном моменте трения для данной скорости шаговый двигатель способен тронуться. Эта кривая пересекает ось скоростей в точке, называемой максимальной частотой старта или частотой приемистости. Она определяет максимальную скорость, на которой ненагруженный двигатель может тронуться. На практике эта величина лежит в пределах 1000 – 1500 полных шагов в секунду. Инерционность нагрузки сильно влияет на вид внутренней

кривой. Большая инерционность соответствует меньшей области под кривой. Эта область называется областью старта. Внешняя кривая (кривая разгона, или pull-out curve) показывает, при каком максимальном моменте трения для данной скорости шаговый двигатель способен поддерживать вращение без пропуска шагов. Эта кривая пересекает ось скоростей в точке, называемой максимальной частотой разгона. Она показывает максимальную скорость для данного двигателя без нагрузки, обычно 2000 – 5000 полных шагов в секунду. При измерении максимальной скорости нужно иметь в виду, что из-за явления резонанса момент равен нулю еще и на резонансной частоте. Область, которая лежит между кривыми, называется областью разгона. Нужно отметить, что схема драйвера в значительной степени влияет на ход кривой момент – скорость.

Из выше сказанного следует, что для уменьшения потребления энергии, габаритов и массы шагового двигателя необходимо в конструкции пропорционального модулятора использовать гибридный шаговый двигатель, по конфигурации обмоток – биполярный.

При создании опытного образца пропорционального модулятора был использован шаговый электродвигатель, имеющий следующую характеристику [83]:

Наименование двигателя	Fulling motor FL57STH76-2804B;
Тип	гибридный, четырехфазный, универсальный;
Напряжение фазы, В	4,17;
Ток фазы, А	2,8;
Сопротивление фазы, Ом	1,5;
Индуктивность фазы, мГн	6,8;
Напряжение питания, В	12;
Погрешность, %	5;
Масса электродвигателя, кг	1,4;
Момент на валу электродвигателя, кгс·см	31,0;

3.3. Выбор и обоснование алгоритма управления

Алгоритм управления оказывает существенное влияние на работу любой системы управления. *Алгоритм* – преемственная последовательность действий, выполнение которой позволяет достичь определённых целей. Также алгоритмом называется описание такой последовательности действий. Но для любой системы управления, каковой является и тормозная система, более важным является вопрос управления данной системой, а алгоритм это часть процесса управления. Поэтому только правильная организация процесса управления может обеспечить высокое качество процесса торможения. Общие вопросы управления описаны в работах [84-95].

Известно несколько определений понятия «Управление». Инженерное (прикладное) определение этого понятия: управление – это процесс преобразования информации о состоянии системы в определённые целенаправленные действия, переводящие управляемую систему из исходного в заданное состояние. [86].

Общее определение, управление есть целеобусловленное, целеподчинённое субъектно-объектное взаимодействие, в результате которого достигается в той или иной степени цель субъекта [87]. Или, проще говоря: управление - такая организация того или иного процесса, которая обеспечивает достижение определенной цели. Таким образом, Главным в процессе управления является цель. Цель – это желаемый мысленный конечный результат. Если есть цель, то начинается управление, нет цели - не может быть и управления. Цель - первична, она - основополагающая всего процесса управления [87]. В нашем случае целью управления является качение колеса при торможении с высокой эффективностью в различных скоростных, нагрузочных и сцепных условиях без блокирования.

Можно выделить несколько аспектов касающихся процесса управления, при не выполнении которых не возможно обеспечить управление субъектом управления:

- Управлять, возможно, только объективно существующим процессом [38];

- Объекты, не обладающие устойчивостью в смысле предсказуемости в достаточной для этого мере, в принципе не поддаются управлению и не могут быть введены в режим самоуправления [38, 88].

Управление реальными системами носит многошаговый характер, когда к достигнутой цели приходят не за один, а за несколько шагов, последовательно корректируя действия с учётом достигнутых результатов.

Одна из типичных ошибок управления на разных уровнях – это попытка достичь цели за один ход, что для многих, а особенно больших систем является просто нереальным по следующим причинам:

- мы не располагаем, как правило, всей информацией о состоянии системы, объекта управления и действующих на них факторов;

- реализация решения происходит во времени, иногда значительном, при этом ряд факторов, действующих в системе и на систему, изменяются;

- системы инерционны и для изменения их состояния требуется время;

- главный действующий субъект управления – человек [86].

При управлении любой системой может быть решено только две задачи [38]:

- задача управления – это когда мы хотим управлять объектом сами с определенной целью;

- задача самоуправления – это когда мы хотим, чтобы объект самоуправлялся без нашего вмешательства, в необходимом нам режиме.

Применительно к тормозной системе первая задача управления решается при служебных торможениях, когда человек (субъект управления) осуществляет процесс управления по своему субъективному мнению, устанавливая замедление транспортного средства. Вторая задача управления решается при экстренных торможениях, когда человек не способен эффективно управлять процессом торможения, тогда тормозная система должна обеспечить эффективное управление процессом торможения в режиме самоуправления. В

связи с этим блок управления ЭПТС должен иметь несколько алгоритмов управления колесами (объектом управления) при торможении в различных ситуациях. Как минимум, количество алгоритмов должно совпадать с количеством заложенных функций. В связи с этим возникает необходимость выбора нужного алгоритма в данный момент времени. За выбор алгоритма управления отвечает закон управления. Из выше сказанного, схема управления электронно-пневматической тормозной системой должна иметь следующий вид рис. 3.15.

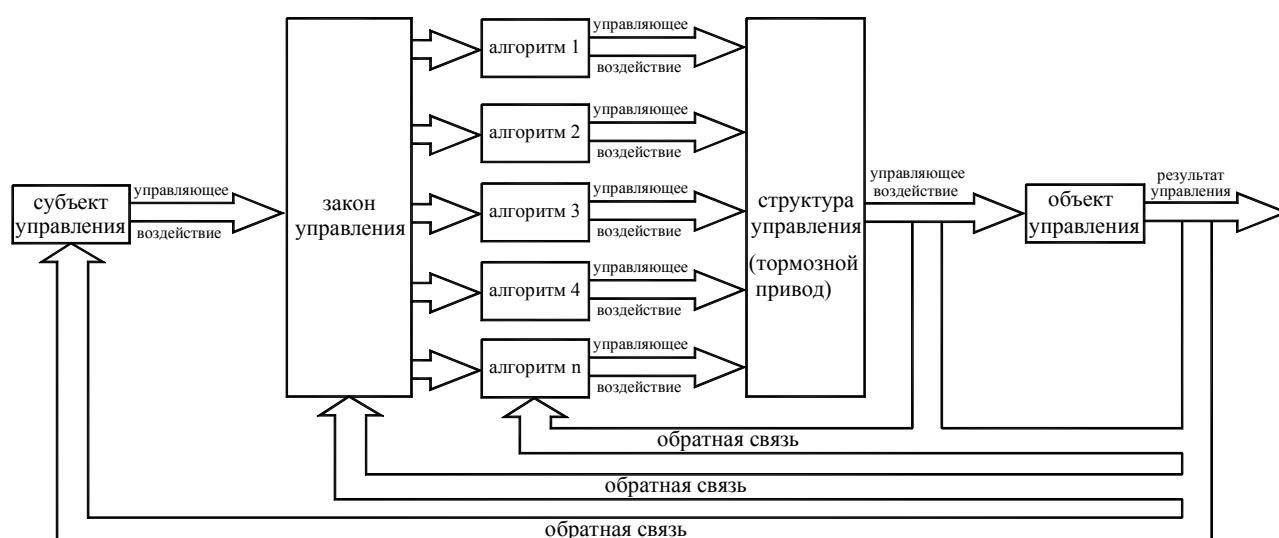


Рис. 3.15. Общая схема управления электронно-пневматической тормозной системой.

Исходя из этой схемы, при создании системы управления вытекает постановка двух задач:

- выбор закона управления;
- выбор алгоритма управления для каждой функции ЭПТС (ЭУПП, ЭРТС, АБС, СКУ, СДУ, АРС, ПБС «раздел 1»)

В настоящее время можно выделить несколько критериев, по которым будет работать закон управления:

- темп приведения тормозной педали в действие;
- замедление или относительное изменение скорости колеса;
- боковые ускорения АТС;
- информация об окружающей обстановке (различные радары, которые определяют обстановку вокруг транспортного средства, например, функция АРС).

Общеизвестно, управляющее воздействие водителя, можно разделить на два режима: служебное и экстренное торможение, по темпу приведения педали тормоза в действие. Если темп приведения педали тормоза в действие длительнее чем 0,2 с., тогда это служебное торможение [2, 3]. В этом случае необходимо организовать пропорциональное следящее действие подобно стандартной рабочей тормозной системе. В другом случае, если темп приведения педали тормоза в действие равен или быстрее чем 0,2 с. – экстренное торможение. Тормозная система должна войти в режим самоуправления и обеспечить эффективное торможение, руководствуясь, замедлением или относительным изменением скорости колеса.

Третий и четвертый критерии закона управления предназначены для распознавания аварийной ситуации, когда водителем была неправильно оценена окружающая обстановка и может возникнуть вероятность разворота, опрокидывания или столкновение транспортного средства с каким либо препятствием.

Для обеспечения устойчивости работы алгоритма, применительно к каждому из отдельных алгоритмов, а также закона управления, наиболее рационально использовать тип алгоритма с защитой памяти от накопления недостоверной информации. Из работы [38] известно три типа алгоритма: программный, алгоритм на основе включения потока текущей информации в память, алгоритм с защитой памяти от накопления недостоверной информации. Третий тип алгоритма обладает наивысшей помехоустойчивостью как по отношению к высокочастотным шумам среды, так и собственным шумам системы (рис. 3.16) [38].



Рис. 3.16. Принципиальная схема алгоритма с защитой памяти от накопления недостоверной информации.

Это достигается за счет использования алгоритма-сторожа, который позволяет перед загрузкой в память входного потока информации выявлять недостоверную и сомнительную информацию (различные виды ошибок, сбоев, которые могут возникнуть при воздействии различных факторов на датчики) для того, чтобы выработка управленческого решения исходила бы только на основе информации, признанной достоверной. В качестве входной информации, в нашем случае, выступает текущее значение: времени прохождения двух зубьев кодового колеса мимо датчика [78], положение педали тормоза. Использование алгоритма-сторожа очень важный момент, т.к. ошибочный сигнал с датчика может привести к выдаче ошибочного управленческого решения и соответственно это может привести к неправильным действиям системы в целом или в общем случае привести к снижению качества управления.

Также следует отметить, что алгоритм-сторож не должен только фильтровать входящую информацию. В следствии быстроты протекания процесса блокирования колеса необходимо, чтобы при каждом прохождении зуба кодового колеса мимо датчика скорости была известна текущая скорость колеса для того, чтобы вовремя среагировать на стремление колеса заблокироваться. При возникновении ошибки регистрации скорости, если просто показывать предыдущую мгновенную скорость колеса, то это может приводить к задержкам принятия управленческого решения на растормаживание или затормаживание колеса, что в свою очередь приведет к снижению качества процесса торможения и потере эффективности. Не учитывая этого аспекта, большинство исследователей и разработчиков АБС для повышения качества процесса торможения стремятся повысить быстродействие модуляторов, компенсируя задержку при определении текущего мгновенного значения скорости колеса. Таким образом, для обеспечения высокого качества процесса торможения необходимо чтобы при каждом прохождении зуба кодового колеса мимо датчика скорости было установлено значение скорости колеса, даже если датчик выдал ошибку. Поэтому особое внимание следует обратить на разработку алгоритма-сторожа.

В виду отсутствия описания подобных алгоритмов применительно к определению текущего значения скорости колеса, был разработан алгоритм-сторож, который работает следующим образом. Каждый раз при получении нового значения скорости колеса оно сравнивается с предыдущим и его величина не должна отличаться от предыдущего не более чем на 30% (величина подобрана экспериментальным путём), т.е. проверяется следующее условие:

$$t_i - t_{i+1} \leq t_i + t_i \cdot 0,3, \quad (3.1)$$

где: t_i - значение предыдущего сигнала,

t_{i+1} - значение следующего сигнала,

После проверки условия в память заноситься знак разницы двух времён $t_i - t_{i+1}$, отрицательный знак означает, что колесо затормаживалось, положительный – колесо разгонялось. Если условие (3.1) выполняется, то зафиксированное значение скорости колеса записывается в память без изменений. В случае если условие (3.1) не выполняется, тогда в память заноситься значение скорости t'_{i+1} , рассчитанное по формуле:

$$t'_{i+1} = t_i + t_i \cdot 0,3. \quad (3.2)$$

При этом знак величины скорости используется как в предыдущем измерении.

В памяти заложены законы и алгоритмы управления, которые блок преобразователя информации использует для выработки управленческих решений. Также память обеспечивает накопление ошибок и заносит их в карантин, по количеству ошибок за один процесс торможения может производиться диагностика системы управления в целом, так и выявление причины сбоя. В случае если количество ошибок превысит заданный параметр, должно быть осуществлено информирование водителя о возможной неисправности в системе.

3.3.1. Алгоритм работы контура электронно-пневматической тормозной системы при работе в режиме выполнения служебного торможения

Основная идея реализации пропорциональности между положением педали тормоза и давления сжатого воздуха в тормозной камере, заложенная в конструкции пропорционального модулятора, заключается в том, что каждое положение педали соответствует определенному положению вала ШЭД. При нажатии на педаль тормоза блок управления должен распознавать (определять)

31 положение педали, исходя из выбранных параметров пропорционального модулятора и его расчетной статической характеристике (рис. 2.6). Запорно-регулирующий элемент пропорционального модулятора может занимать 38 положений, из них 8 необходимо для закрытия выпускного клапана. Поэтому первое положение педали соответствует положение ротора ШЭД равному 8 шагов, это обеспечит быстрое закрытие выпускного клапана модулятора, а также обеспечит минимальный свободный ход педали тормоза. Второе положение педали соответствует положение ротора ШЭД равному 9 шагов, третье положение педали – 10 шагам, и т.д. Таким образом, положение ротора ШЭД при прямом ходе рассчитывается по зависимости:

$$P_{шд} = P_{п} + 8, \quad (3.3)$$

где $P_{шд}$ – необходимое положение ротора ШЭД;

$P_{п}$ – текущее положение педали.

При отпускании педали тормоза ротор ШЭД должен двигаться в обратном направлении, при этом положение ротора ШЭД ходе рассчитывается по зависимости:

$$P_{шд} = P_{п}, \quad (3.4)$$

Также возможно задание соответствия положения педали положению ротора ШЭД табличным способом.

Таблица 3.3

Способ задания соответствия положения педали положению ротора ШЭД

Сигнал с датчика	0	1	2	3	4	...	29	30	31
Количество шагов ШЭД	0	8	1	1	1	1	1	1	1
Суммарное количество шагов	0	8	9	10	11	...	36	37	38

При использовании такого алгоритма расчетная статическая характеристика контура ЭПТС будет иметь вид (рис. 3.17).

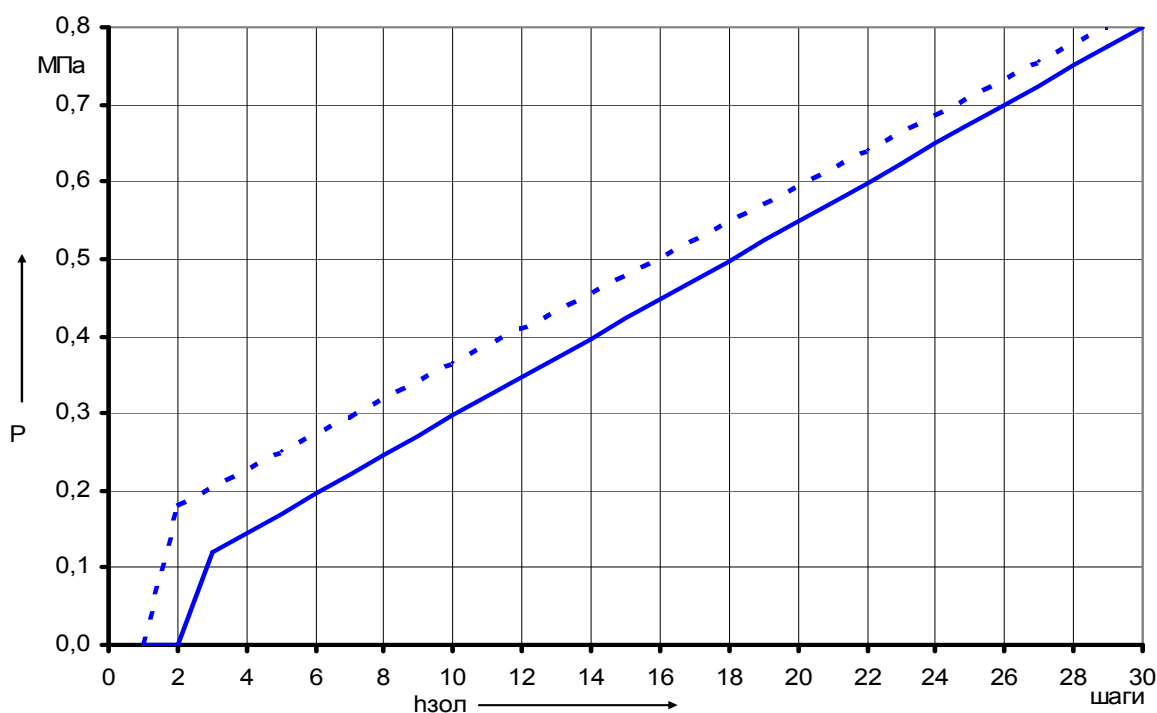


Рис. 3.17. Теоретическая статическая характеристика разработанного контура ЭПТС:

———— затормаживание;
 - - - - - растормаживание.

Из расчетной статической характеристики контура ЭПТС можно сделать вывод, что данный контур обладает высоким качеством следящего действия. Значение давления 0,12 МПа при первом положении педали позволяет преодолеть гистерезис тормозного механизма и это начальное давление можно уменьшить путем снижения усилия предварительного сжатия пружины 17 (рис. 3.4).

Также, возможно, используя предложенный алгоритм, улучшить статическую характеристику контура в сторону уменьшения гистерезиса. Для этого необходимо в алгоритме сместить обратную ветвь статической характеристики, на величину гистерезиса пропорционального модулятора, который составляет два положения ротора ШЭД. Тогда, на обратной ветви

статической характеристики положение ротора ШЭД будет рассчитывается по зависимости:

$$P_{ШД} = P_{П} - l \quad (3.5)$$

В результате расчетная статическая характеристика контура ЭПТС примет вид (рис. 3.18).

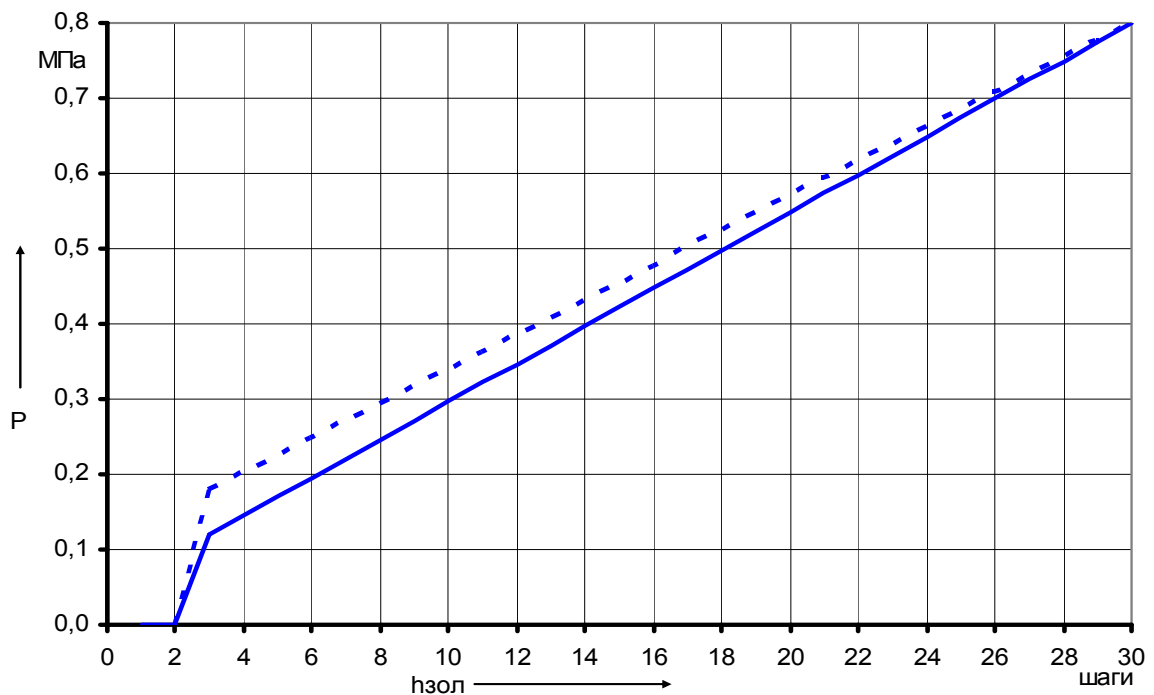


Рис. 3.18. Теоретическая статическая характеристика разработанного контура ЭПТС с уменьшенным гистерезисом:

———— затормаживание;

- - - - - растормаживание.

Еще одним из возможных алгоритмов управления ЭПТС, при служебном торможении, может быть алгоритм, реализованный в современных ЭПТС фирмы WABCO. Идея такого алгоритма заключается в том, что положению педали тормоза соответствует определенное значение замедления колеса. Таким образом, величина замедления транспортного средства почти всегда будет одинаковой, вне зависимости от степени загрузки или если тормозные колодки влажные, то блок управления ЭПТС увеличит давление до тех пор,

пока не будет достигнуто требуемое замедление колес. Это позволяет при следящем действии сразу выполнить функцию распределения тормозных сил и реализовать подобие идеальной статической характеристики т.к. положению педали тормоза соответствует определенное значение замедления колеса, как при нажатии, так и при отпуске педали.

Однако данный алгоритм имеет некоторые недостатки. В виду инерционности системы, неизбежно, система управления будет поддерживать заданное значение замедления в некотором коридоре, а значит, весь процесс служебного торможения будет колебательным подобно работе антиблокировочной системы. Это может привести к снижению комфортабельности перевозки пассажиров. Также такой алгоритм управления для служебного торможения приведет к тому, что тормозная система все время будет работать в режиме самоуправления. Хотя транспортным средством должен (обязан) управлять человек. В таком случае у человека может появиться иллюзия управления тормозом, и как следствие у человека могут в процессе управления таким транспортным средством будут выработаны ложные стереотипы. И как следствие вероятность переоценки своих возможностей человеком значительно повышается и при этом повышается вероятность ДТП.

Из выше изложенного вытекает, что наиболее рациональным алгоритмом управления является второй, который обеспечивает следящее действие по статической характеристике с меньшим гистерезисом.

3.3.2. Алгоритм работы контура электронно-пневматической тормозной системы при работе в режиме выполнения антиблокировочной функции

При служебном торможении может возникнуть ситуация при которой колеса могут заблокироваться, что приведет к потере управляемости, устойчивости и увеличению тормозного пути транспортного средства. Поэтому одним из критериев закона управления является текущее замедление или

проскальзывание колеса. В случае превышения заданных значений тормозная система должна перейти в режим самоуправления по определенному алгоритму.

В настоящее время известно большое количество алгоритмов работы АБС. Разработкой алгоритмов управления системой АБС занимались: Ломака С. И., Ходырева С.Я., Алёкса Н. Н., Гецович Е. М. [28 - 30, 97], Нефедьев Я. Н., Петров В. А., Ревин А. А., Иванов В. Г. [98-102] и др., а также описаны в патентных источниках [103-107] Однако в «чистом» виде, в предлагаемой системе управления, не один из выше указанных алгоритмов использовать, в виду того, что алгоритм должен соответствовать структуре тормозной системы, все ранее созданные алгоритмы разрабатывались с учетом модуляторов релейного типа, в нашем случае пропорциональный модулятор пропорциональный прямого действия.

Предлагается реализовывать алгоритм работы контура ЭПТС в режиме выполнения антиблокировочной функции следующим образом.

Отслеживается состояние колеса, определяется время за один период (прохождение от вершины до вершины) – t_i и преобразователь информации заносит его в память, после чего преобразователь информации определяет время прохождения между двумя другими зубьями t_{i+1} и выполняет расчет по формуле:

$$\Pi = \frac{(t_{i+1} - t_i)}{t_{i+1}} \cdot K, \quad (3.6)$$

где: Π – относительное изменение угловой скорости колеса, значение которое будет сравниваться с заданным пороговым для определения момента, когда у колеса появиться тенденция к вхождению в блок;

t_i – значение предыдущего сигнала;

t_{i+1} – значение следующего сигнала;

K – коэффициент усиления.

Полученное значение Π сравнивается с первым условием Π_1 :

$$\Pi \geq \Pi_1 \quad (3.7),$$

где: Π_1 – пороговое значение относительного изменения угловой скорости колеса для растормаживая колеса.

Если условие Π_1 не выполняется цикл повторяется и вновь получая новое время t_{i+2} высчитывается новое значение Π по той же формуле (предыдущее время - текущее время разделить на предыдущее время), проверяется условие Π_1 и так в цикле пока условие будет выполнено. В случае если условие выполниться, преобразователь информации определяет текущее положение ШЭД и выдает команду ШЭД занять исходное положение, таким образом, произойдет выпуск воздуха из тормозных камер.

После того как условие Π_1 выполнилось, преобразователь информации начинает проверку второго условия Π_2 :

$$\Pi \leq \Pi_2 \quad (3.8),$$

где: Π_2 – пороговое значение относительного изменения угловой скорости колеса для затормаживая колеса.

Подобно проверке условия Π_1 , пока условие Π_2 не будет соблюдаться, преобразователь информации никаких управленческих воздействий на ШЭД не выдает. Производится расчет текущего значения Π и сравнения его с пороговым значением Π_2 до тех пор, пока условие 3.8 выполниться. Если условие 3.8 выполнилось, преобразователь информации считывает текущее положение педали и определяет по формуле 3.1 необходимое положение ШЭД, и выдает соответствующую команду, даже в том случае если ШЭД не успел выполнить предыдущее действие. Такой подход позволяет снизить

инерционность всей системы управления, и такой алгоритм получил название алгоритм с прерыванием цикла.

Далее преобразователь информации возвращается к проверке условия $П_1$ (3.7) и цикл повторяется. В случае отпускания педали алгоритм прекращает свою работу.

Значение порогов $П_1$ и $П_2$ были определены экспериментальным путем в виду того, что на данный период времени не существует достаточно точных математических моделей описывающих качение колеса в тормозном режиме. Проведение поисковых экспериментов проводилось с нагрузкой на колесо 27 и 8 кН при одинаковых прочих начальных условиях: начальной скорости торможения 60 км/ч, давление в ресивере 0.8 МПа, рабочая частота ШЭД пропорционального модулятора в прямом направлении (наполнение) 380 Гц и в обратном (опоражнивание) – 800 Гц. Эксперименты проводились на большом инерционном стенде кафедры автомобилей, оборудованным измерительным комплексом, описанным в разделе 4. При проведении поисковых экспериментов поочередно варьировались пороги $П_1$ - порог на растормаживание колеса и $П_2$ - порог на затормаживание колеса (см. рис. 3.19...3.22). Оценка влияния порогового значения на процесс качения колеса выполнялась по качеству качения колеса, т.е. отсутствие блокирования колеса.

Так при подборе порога $П_1$ было выявлено, что наилучшее качество качения колеса обеспечивается при порогах равных 0.5, 0.6 (рис. 3.19, 3.20).

Использование порогового значения 0,4 (рис. 3.21) и меньше приводит к срыву алгоритма, т.е. колесо перестает затормаживаться. Это явление вероятнее всего происходит вследствие того, что пороговое значение попадает в зону «шумов», в результате команды на растормаживание и затормаживание приходят очень быстро и шаговый двигатель не способен среагировать на поступающие команды, и остается в положении, когда осуществляется растормаживание.

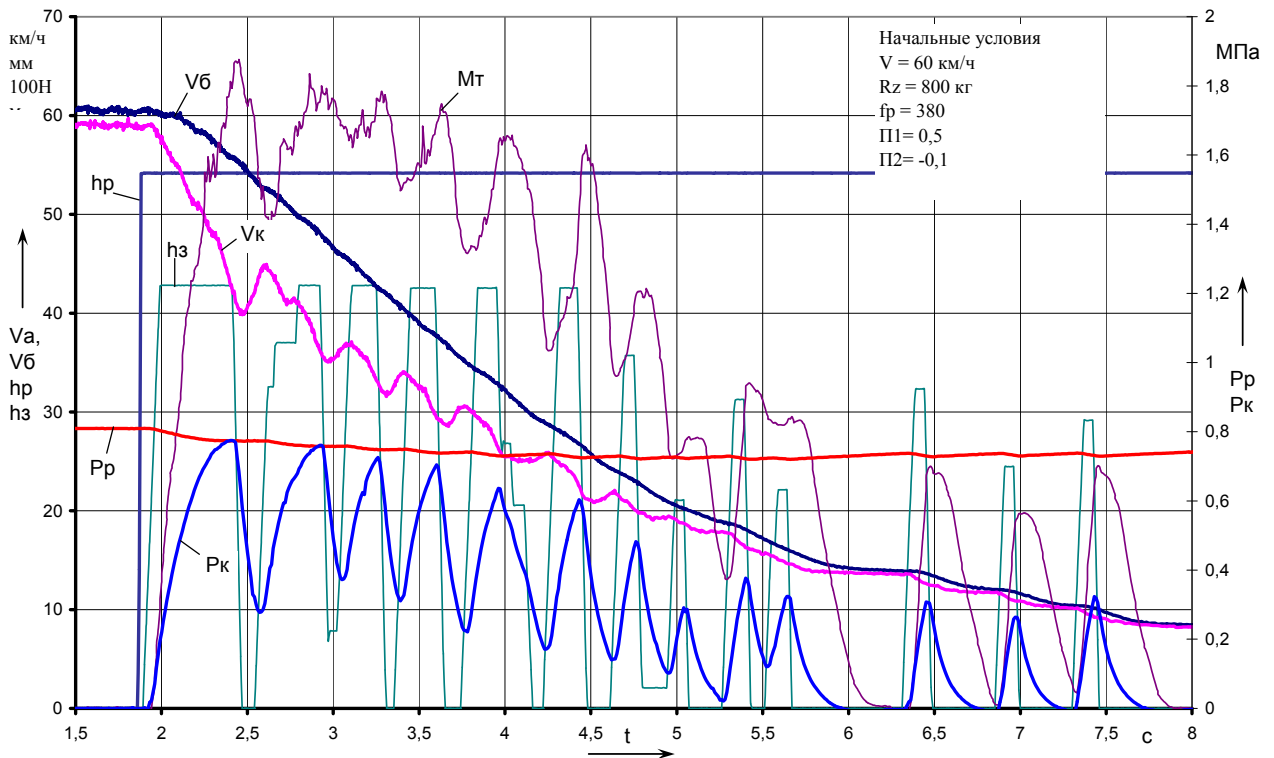


Рис. 3.19. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре ЭПТС с пропорциональным модулятором и нагрузкой на колесо 27 кН, при подборе порогового значения Π_1 .

На всех осциллограммах приняты следующие обозначения:

V – начальная скорость торможения колеса, км/ч;

R_z – вертикальная нагрузка на колесо, кг;

f_p – рабочая частота ШЭД в прямом направлении, Гц;

V_b – скорость барабана, км/ч;

V_k – скорость колеса, км/ч;

M_T – тормозной момент, Н·м;

h_p – положение педали;

h_z – положение золотника в модуляторе;

P_k – давление в тормозной камере, МПа;

P_p – давление в ресивере, МПа;

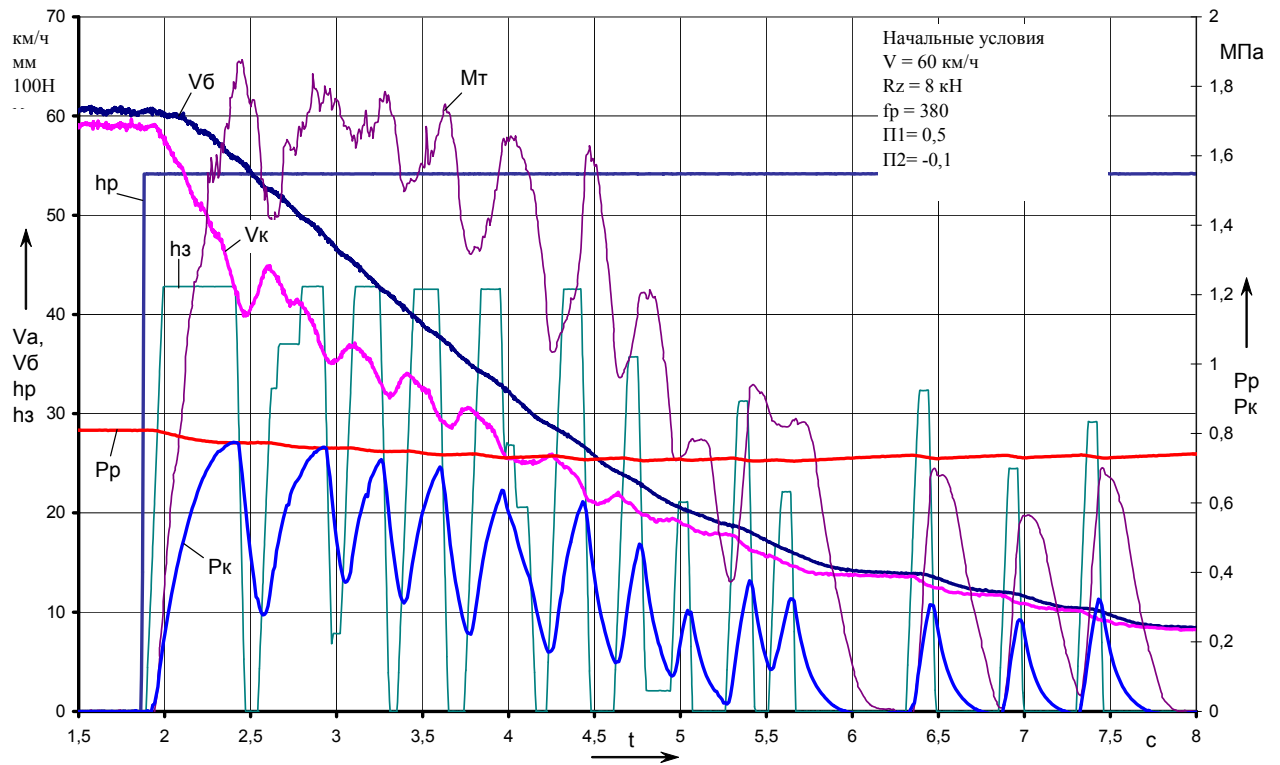


Рис. 3.20. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре ЭПТС с пропорциональным модулятором и нагрузкой на колесо 8 кН, при подборе порогового значения Π_1 .

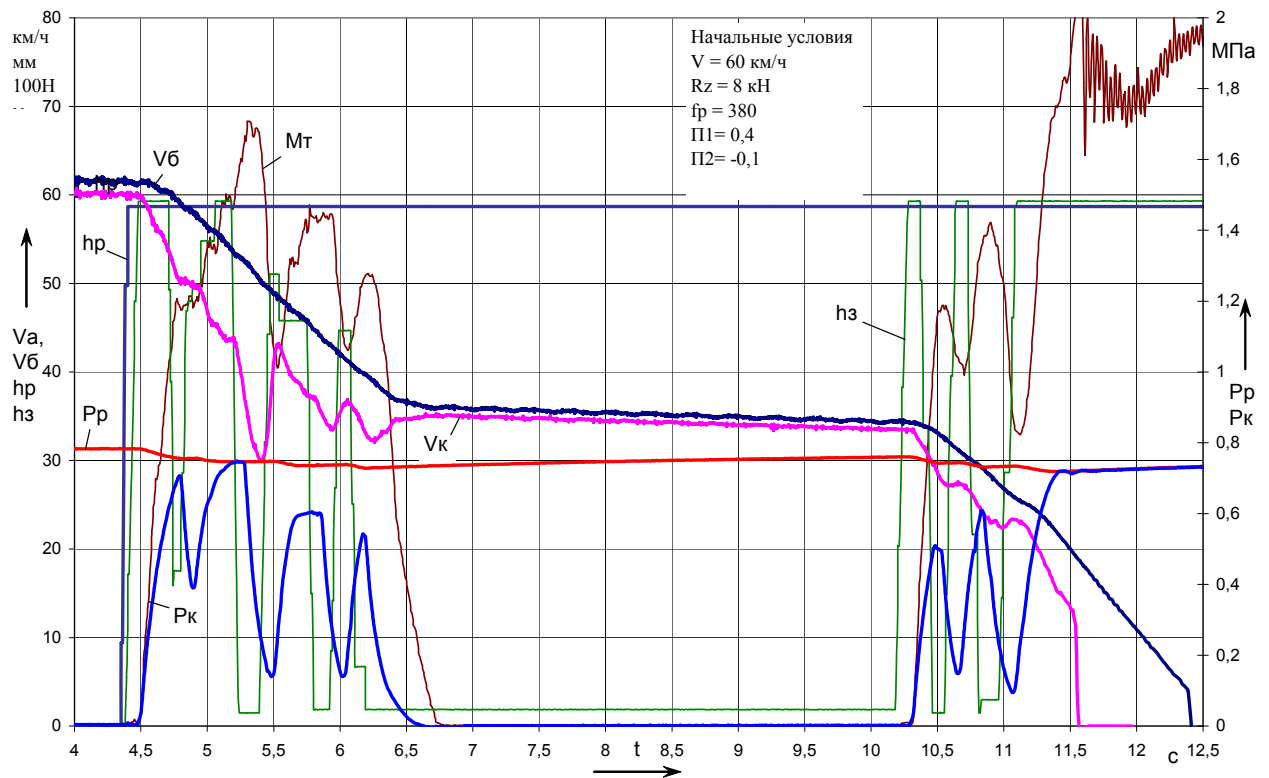


Рис. 3.21. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре ЭПТС с пропорциональным модулятором при порогом $\Pi_1 = 0,4$.

При увеличении значения Π_1 выше 0.6 (рис. 3.22) наблюдалось блокирование колеса, однако было выявлено, что блокирование колеса происходило в интервале скоростей 40-20 км/ч. Это связано с тем, что при первом цикле срабатывая колесо не успевает скатываться в блок, в виду большой величины инерции, при дальнейшем снижении скорости инерционность также снижается а коэффициент сцепления начинает возрастать согласно работы [108]. В результате порог 0.7 оказывается слишком большим и система управления в целом не успевает предотвратить блокирования колеса.

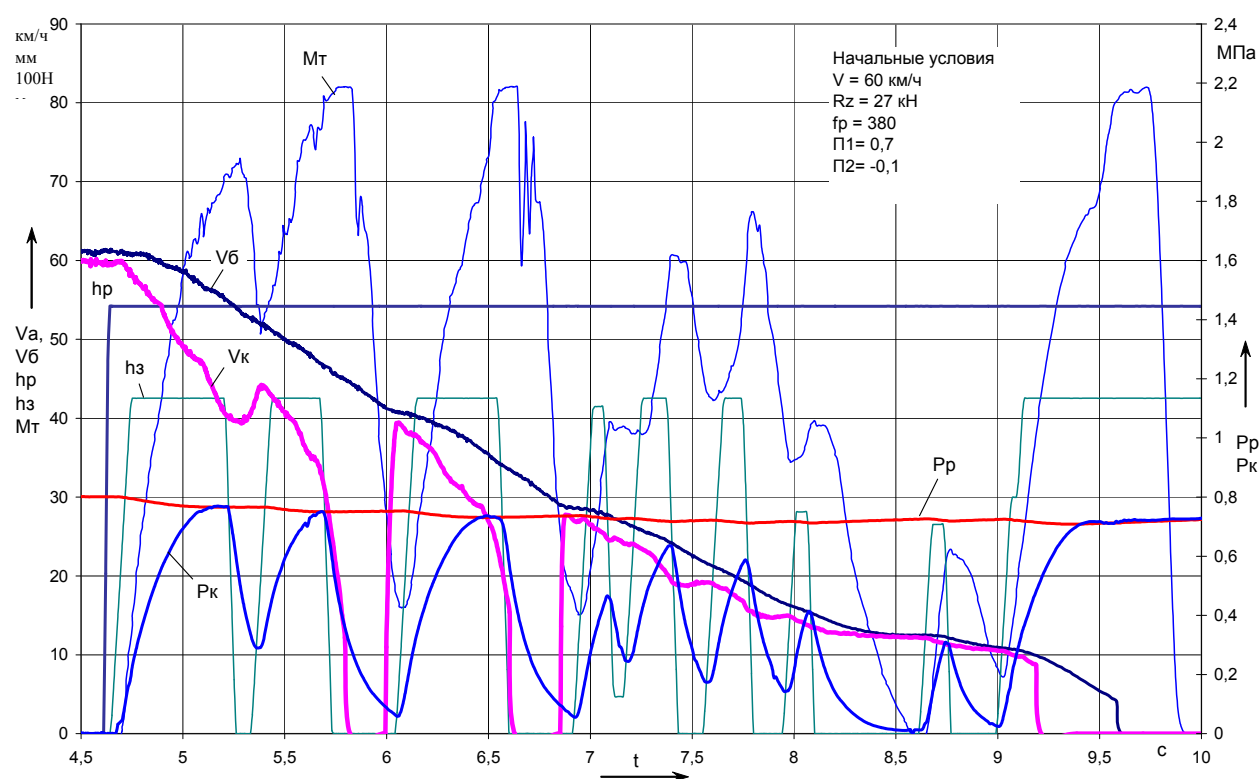


Рис. 3.22. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре ЭПТС с пропорциональным модулятором при пороге $\Pi_1 = 0,7$.

При проведении поисковых экспериментов по выбору порогового значения Π_2 , было выявлено, что система управления обеспечивает безблокировочное качение колеса при значениях Π_2 в пределах $-0,1 \dots -0,2$. Использование порога на затормаживание Π_2 меньше $-0,2$ приводило к потере эффективности и срыву

алгоритма, т.е. колесо переставало затормаживаться. Использование порога Π_2 равным 0.0 и выше приводило к блокированию колеса (рис. 3.23). Это происходит в следствии того, что колесо не успевает выйти из зоны неустойчивого качения, т.е. когда проскальзывание колеса в пятне контакта является достаточно высоким, и в этот момент подается команда на затормаживание, в результате колесо блокируется.

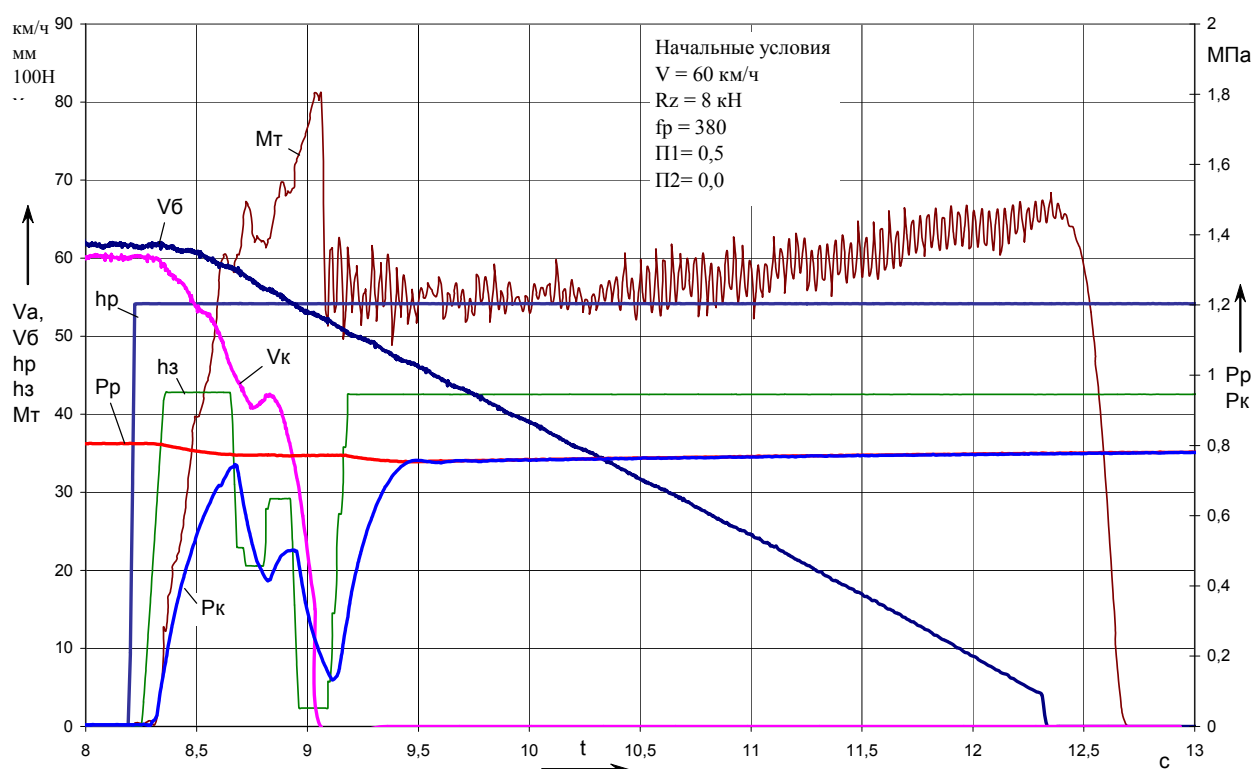


Рис. 3.23. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре ЭПТС с пропорциональным модулятором при порогах $\Pi_2 \leq 0.0$.

В результате проведенных поисковых экспериментов было выявлено:

- нагрузка на колесо не влияет на величину порогового значения, причем процессы торможения на осциллограммах рис. 3.19 и 3.20 очень схожи между собой. Хотя при нагрузке на колесо 8 кН (рис. 3.20) модулятор в начальный период торможения срабатывал чаще.

- на характерных осциллограммах рис. 3.19 и 3.20 видно, что порог $\Pi_1 = 0,5$ обеспечивает эффективное торможение только в начальной фазе торможения.

При скоростях 30 - 35 км/ч начинается резкое падение эффективности, реализуемый тормозной момент M_T начинает снижаться и кривые скоростей становятся более пологими. Причем с уменьшением скорости до 20 км/ч колесо практически перестает затормаживаться. Из этого обстоятельства вытекает вопрос о повышении устойчивости работы системы управления в целом. Поэтому для повышения устойчивости процесса торможения с высокой эффективностью, во всем диапазоне скоростей, необходимо не только обеспечить устойчивую работу алгоритма за счет использования алгоритма с защитой памяти от накопления недостоверной информации, но и в процессе работы алгоритма требуется изменения цели управления. В нашем случае, для блока управления, задается цель – регулировать процесс качения колеса по заданным пороговым значениям, значит, по каким-то критериям необходимо изменять значения порогов или прекращать процесс регулирования, затормозив колесо. Прекращение процесса регулирования, возможно организовать, использовав следующий алгоритм.

В момент времени, когда выполнилось условие 3.7, т.е. сработал порог на растормаживание колеса $П_1$, производится проверка текущей скорости колеса, по последнему значению полученному от датчика скорости, если угловая скорость оказалась менее 15 км/ч и в течении заданного времени условие на затормаживание 3.8 не выполняется, в этом случае цикл прерывается и подается управляющий сигнал переместить ШЭД в положение соответствующее положению педали. При этом может происходить кратковременное блокирование колеса, которое допускается по нормативам [2, 3].

Подобным образом, возможно, реализовать изменение величины порогового значения в процессе торможения, но разработка наиболее эффективного алгоритма для ЭПТС не ставилась в задачах данной диссертационной работы, поэтому подобные исследования не проводились. Однако нужно отметить, что предложенный способ, изменение пороговых

значений в процессе торможения, с целью повышения устойчивости работы ЭПТС по отношению к эффективности процесса торможения является перспективным и требующим дальнейшего изучения. К тому же, если изменить схему управления с программно-адаптивной на схему «предиктор-корректор» [38], т.е. когда управленческое решение будет приниматься на основании прогноза будущего состояния колеса, в этом случае получится добиться максимально возможной эффективности ЭПТС при экстренном торможении.

Для дальнейших экспериментальных исследований был использован выше описанный алгоритм с прерыванием рабочего цикла, с пороговыми значениями $P_1 = 0,6$ и $P_2 = -0,2$, и прекращением процесса регулирования при скорости меньше 15 км/ч.

Выводы по разделу

1. При разработке модуляторов созданных на базе шагового электродвигателя наиболее рационально использовать биполярный гибридный шаговый электродвигатель.
2. Отсутствие на рынке шаговых электродвигателей работоспособных в широком диапазоне температур сдерживает развитие и внедрение пропорциональных модуляторов созданных на базе шагового электродвигателя.
3. Применение алгоритма-сторожа, в системах управления в которых высокая вероятность прихода ошибочной информации с датчиков обратной связи, позволяет обеспечивать устойчивую работы всей системы в целом;
4. На величину порогового значения функции АБС нагрузка на колесо заметного влияния не оказывает. При этом скорость колеса оказывает существенное влияние;
5. При работе ЭПТС в режиме выполнения функции АБС требуется в алгоритме обязательно учитывать прекращение процесса регулирования при

скорости колеса ниже 15 км/ч. Это позволяет повысить эффективность торможения и не противоречит нормативным требованиям.

6. Основные научные результаты раздела опубликованы в работе [11].

РАЗДЕЛ 4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТУРА ЭЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ МОДУЛЯТОРОМ

4.1. Программа экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования разработанного контура ЭПТС выполнялись с целью подтверждения достоверности и обоснованности теоретических положений.

В программе экспериментальной части предусматривались:

- исследования рабочих процессов и характеристик разработанного контура ЭПТС с пропорциональным модулятором и системой управления им;
- исследования влияния разработанного контура ЭПТС на процесс торможения колеса в различных нагрузочных условиях.

Исследование рабочих процессов и характеристик контура ЭПТС с пропорциональным модулятором выполнялись в лаборатории кафедры автомобилей ХНАДУ.

4.1.1. Исследования рабочих процессов и характеристик разработанного контура электронно-пневматической тормозной системы с пропорциональным модулятором

Цели исследований:

- определение статической характеристики контура ЭПТС с пропорциональным модулятором;
- определение динамической характеристики контура ЭПТС с пропорциональным модулятором;

- исследования влияния рабочей частоты работы шагового электродвигателя на динамическую характеристику контура ЭПТС с пропорциональным модулятором;
- исследования влияния работы контура ЭПТС с пропорциональным модулятором на процесс качения затормаживаемого колеса;
- сопоставление теоретических и экспериментальных результатов.

Для достижения поставленных целей решались следующие задачи:

- разработка методики экспериментального исследования;
- создание экспериментальной установки;
- разработка и подготовка измерительно-регистрирующего комплекса на основе современной элементной базы;
- выполнение комплекса экспериментальных исследований, предусмотренных программой;
- обработка результатов экспериментов и выполнение их анализа.

4.1.2. Оборудование для исследования рабочих процессов и характеристик разработанного контура электронно-пневматической тормозной системы

Для выполнения исследования рабочих процессов и характеристик разработанного контура ЭПТС на основе структурной схемы разработанного контура (рис. 3.1) разработана лабораторная установка, структурная схема которой приведена на рис. 4.1.

Лабораторная установка для исследования представляет собой контур ЭПТС (описанный в разделе 3) с макетным образцом пропорционального модулятора, общий вид экспериментального стенда показан на рис. 4.2. Основой установки является тормозной инерционный стенд.

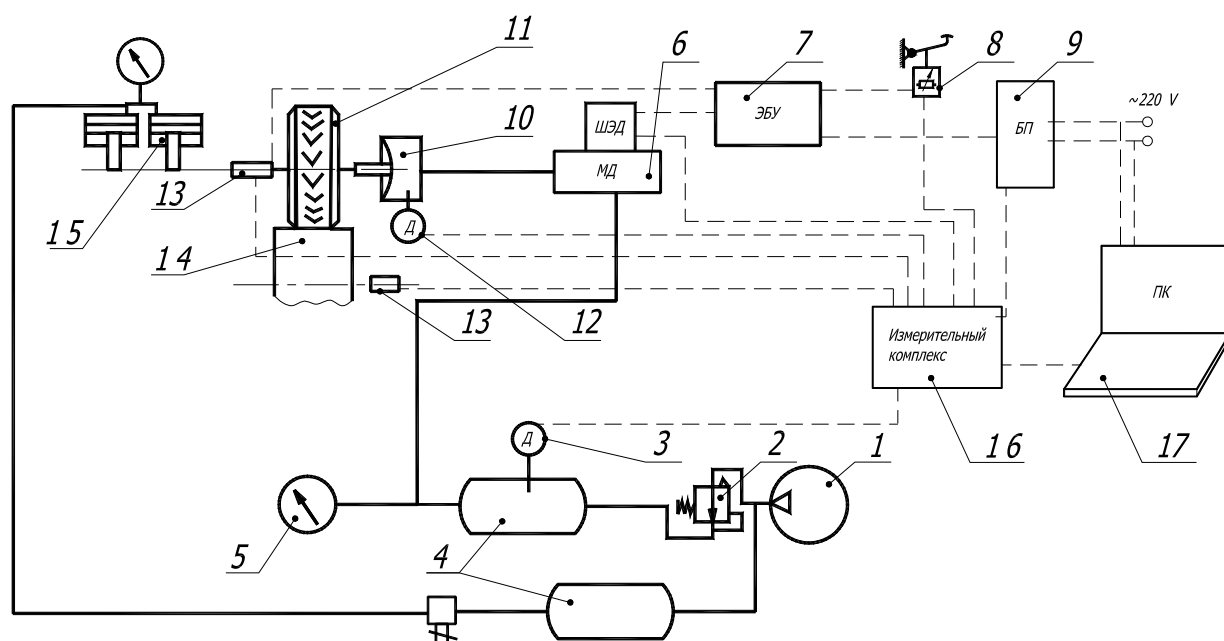


Рис. 4.1. Структура лабораторной установки:

- 1 – компрессор;
- 2 – регулятор давления;
- 3 – датчик давления;
- 4 – ресиверы;
- 5 – манометры;
- 6 – пропорциональный модулятор;
- 7 – электронный блок управления;
- 8 – модуль педальный;
- 9 – блок питания;
- 10 – тормозная камера;
- 11 – колесо;
- 12 – датчик давления;
- 13 – датчики скорости колеса и барабана;
- 14 – беговой барабан;
- 15 – пневмоцилиндры;
- 16 – измерительный комплекс;
- 17 – персональный компьютер.



Рис. 4.2. Общий вид экспериментального стенда

В качестве объекта управления был выбран тормозной механизм автомобиля ЗИЛ-4320 с тормозной камерой тип 20, типоразмер колеса 11,00R20. Ресивер 8, объемом 20л, предназначен для обеспечения необходимого запаса сжатого воздуха. Визуальный контроль давления в цепи питания контура ЭПТС осуществляется манометром ОБМ1-160 с диапазоном давления 0 – 16 МПа, ценой деления 0,02 МПа и классом точности 1,5.

Питание воздухом стендовой установки осуществляется компрессором 1 (рис. 4.1) модели М155-2, который имеет индивидуальный ресивер (на схеме не

показан). Заданный уровень давления воздуха в ресивере 4, контролируется при помощи манометра 5 модели ОБМ1-160 с диапазоном давления 0 – 1,0 МПа, ценой деления 0,025 МПа и классом точности 1,5. Значение давления устанавливается и поддерживается при помощи регулятора давления 2 модели samozzi SA-R30-10. На стендовой установке смонтирован пропорциональный модулятор 9 с электронным блоком управления 10, в качестве органа управления использован модуль педальный 19 (рис. 3.2). Качение колеса 13 осуществляется по инерционному барабану 14. Датчик давления 3 позволяет отслеживать изменение давления сжатого воздуха в тормозной камере. Датчики 12 динамического состояния колеса и бегового барабана, размещены на стенде и предназначены для определения скорости колеса 13 и инерционного барабана 14. Давление сжатого воздуха в пневмоцилиндры 15 подается через электроклапаны (на схеме не показаны) и контролируется по манометру. На стенде так же был установлен измерительно-регистрирующий комплекс 16 для регистрации значений с цифровых и аналоговых датчиков и передачи информации на персональный компьютер 18. Для обеспечения питания датчиков и измерительного комплекса использовался модульный источник питания 17.

При выполнении исследований на экспериментальной установке измерялись, регистрировались и обозначались следующие параметры тормозящего колеса на инерционном стенде:

V_k - скорость колеса;

V_b - скорость барабана;

P_k - давление в тормозной камере;

P_r - давление в ресивере питающей части контура;

P_n - давление в нагрузочных пневмоцилиндрах;

h_p - перемещение педали тормоза;

h_z - перемещение ЗРЭ в модуляторе;

M_T - тормозной момент;

С учётом технических требований по выполнению эксперимента и по результатам анализа продукции ведущих мировых производителей измерительной аппаратуры были определены и приобретены необходимые средства измерения.

Для измерения скорости применяются датчики частоты вращения (ДЧВК) АДЮИ.407111.003МЧ (описан в разделе 3).



1



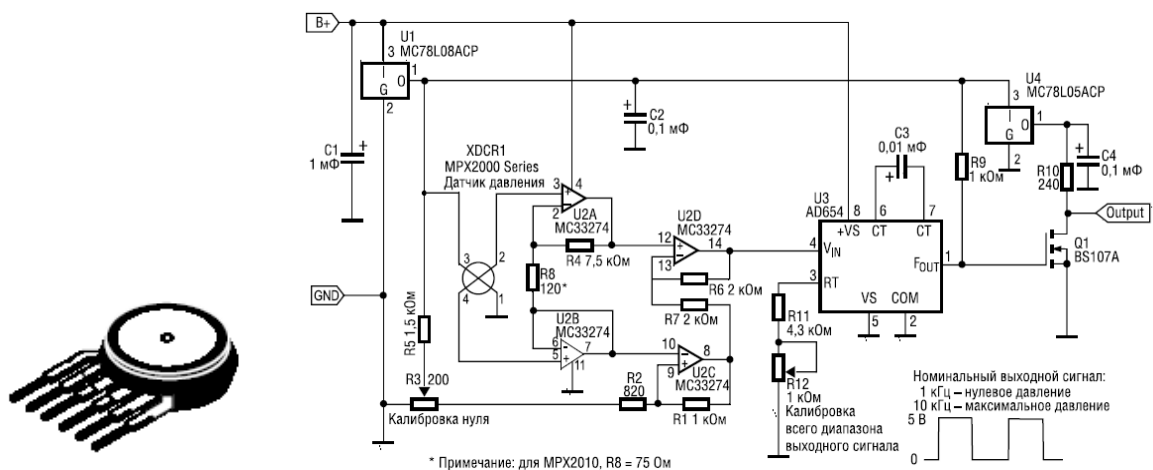
2

Рис. 4.3. Установка датчиков АДЮИ на стенде:

- 1 – для определения скорости колеса;
- 2 – для определения скорости барабана.

Для измерения давления в полости тормозной камеры и ресивера использованы датчики давления Freescale Semiconductor серии MPX 5999D [109].

Общий вид датчика, его принципиальная схема и приведены на рис.4.4, а параметры сведены в таблицу 4.1.





1

2

Рис. 4.5. Установка датчиков MPX 5999D на стенде:

- 1 – для определения давления в тормозной камере;
- 2 – для определения давления в ресивере.

Измерение перемещения педали тормоза осуществлялось одним из двух датчиков положения, установленных в модуле педальном КДБА.453621.001ТУ (описанном в разделе 3), второй датчик использован для формирования задающего сигнала.



Рис. 4.6. Установка модуля педального КДБА.453621.001ТУ.

С целью фиксации положения ЗРЭ, пропорциональный модулятор снабжен датчиком положения ротора шагового электродвигателя. В качестве датчика обратной связи модулятора используется датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ), который используется на автомобилях семейства Daewoo Lanos и Sens рис. 4.7 [110].

Тип датчика – активный бесконтактный. Основное достоинство – отсутствие резистивного элемента, который часто выходит из строя в результате механического контакта при преобразовании угла поворота в электрический сигнал. Как следствие – повышается ресурс работы датчика более чем в 3 раза.



Рис. 4.7. Датчик положения ротора шагового электродвигателя.

Технические характеристики:

Номинальное напряжение питания, В	12
Рабочее входное напряжение, В	5
Рабочий диапазон температуры окружающего воздуха от -40 до +130°C.	
Масса, не более, г	25

Для измерения усилий применяются тензометрический датчик модели LPX производства Precision Transducers Ltd [111]. На экспериментальной установке применяется датчики LPX с диапазоном измерений усилий 0 – 10000 Н. Рабочие параметры датчика усилия приведены в таблице 4.2, а его установка на экспериментальном стенде показана на рис. 4.8.

Рабочие параметры датчика усилия

Наименование параметра	Величина параметра
Метод измерения	Сжатие
Размеры: диаметр × высота, мм	52 × 22
Питание, В	5 – 20
Номинальная величина выходного сигнала $\mu V/V$	$2 \pm 0,1\%$
Абсолютная линейная погрешность	0,1%
Относительная погрешность	0,07%
Предельная нагрузка	150%

Тарировка датчика усилия с источником питания и измерительной аппаратурой подтвердила линейность его характеристики.

Тарировочный параметр датчика LPX-10000 - 3,5 Н/мV.



Рис. 4.8. Установка датчика усилия LPX-10000 на стенде.

Исследуемые физические процессы требуют применения высокоточных и быстродействующих измерительных средств. Обработку и анализ результатов

наиболее целесообразно выполнять с использованием современных цифровых ЭВМ. Таким образом, узкая специализация выполняемых исследований привела к созданию специального измерительно-регистрирующего комплекса.

Структурно измерительно-регистрирующий комплекс состоит из трёх частей. К первой части относятся датчики измерения физических величин исследуемых параметров. Вторая часть состоит из аппаратуры предварительной обработки, регистрации и выдачи информации об исследуемых параметрах. Третья часть комплекса обеспечивает необходимые уровни питания датчиков и аппаратуры обработки и выдачи информации (рис. 4.9).



Рис. 4.9. Измерительно-регистрирующий комплекс.

При разработке измерительно-регистрирующего комплекса лабораторной установки необходимо было учесть особенность исследуемых

рабочих процессов – измерение и регистрация быстро и медленно текущих процессов. Структурная схема комплекса представлена на рис. 4.10.

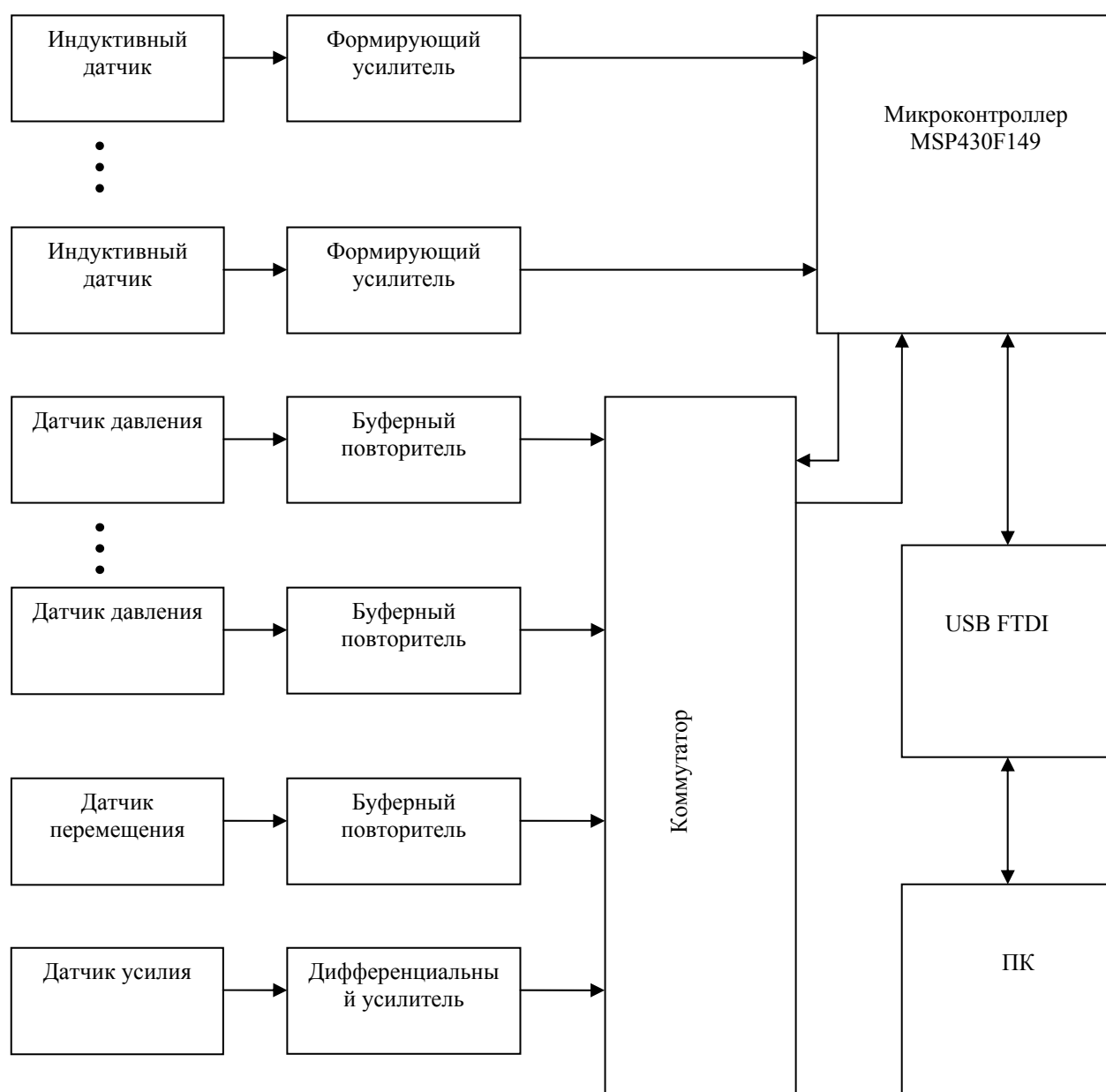


Рис. 4.10. Структурная схема измерительного комплекса.

Комплекс содержит:

- 6 каналов цифровых индуктивных датчиков, для определения скорости вращения;

- 8 аналоговых датчиков давления работающих в диапазоне от 1 до 10 МПа;
- 3 датчика перемещения от 0 до 100 мм;
- 1 датчик усилия работающего в диапазоне от 0 до 10000 Н.

Измерительный комплекс предназначен для измерения и регистрации сигналов с цифровых датчиков, а так же получения сигналов с аналоговых датчиков и преобразования этих сигналов в цифровой вид через аналогово-цифровой преобразователь и передачу полученных данных в персональный компьютер.

Для получения сигнала с аналоговых датчиков давления, датчиков перемещения, и датчиков ускорения используются буферные повторители сигнала, выполненные на операционных усилителях (ОУ), которые обеспечивают большое входное сопротивление, нормирование сигнала по амплитуде, и мощный выход для дальнейшего преобразования сигнала с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Для получения сигнала с датчика усилия используется специальный прецизионный дифференциальный усилитель с коэффициентом усиления 100. Датчик усилия представляет собой тензометрический мост Уитстона (Wheatstone). Для обеспечения правильной работы моста на него подается на одну диагональ строго стабилизированное напряжение 5В. С другой диагонали снимается сигнал – пропорциональный приложенному усилию. Этот сигнал усиливается дифференциальным усилителем.

Для коммутации сигналов с двадцати аналоговых датчиков имеется управляемый коммутатор. После коммутатора аналоговое напряжение поступает на вход двенадцатиразрядного АЦП, который встроен в микроконтроллер MSP430F149. АЦП преобразует аналоговый сигнал в пропорциональный цифровой код.

Для получения сигнала с индуктивного датчика используется формирующий усилитель, который усиливает сигнал и формирует прямоугольный импульс для цифровой регистрирующей системы. Одной из

особенностей измерительного комплекса является то, что регистрация скорости колеса происходит по факту прохождения зуба кодового колеса мимо индуктивного датчика, а не через определённый промежуток времени. Это позволяет обеспечить высокую точность измерения, а также это облегчает анализ получившихся осциллограмм, что важно при отработке алгоритмов, т.к. при создании блока управления для разработанного контура ЭПТС использован аналогичный способ получения скорости колеса, и регистрация скорости происходит с одного и того же кодового колеса.

По команде «СТАРТ», переданной от ПК, в микроконтроллере запускается таймер с заданной частотой. По сигналу таймера запускается преобразование АЦП и данные накапливаются в оперативной памяти. По накоплению определенного объема данных, они пакетом передаются в ПК.

По сигналу с индуктивного датчика (который является датчиком скорости вращения колеса) запоминается текущий момент системного времени. Метки времени накапливаются в оперативной памяти. По накоплению определенного объема данных, они пакетом передаются в ПК. Системное время работает с шагом в 1 микросекунду. Время между срабатываниями индуктивного датчика позволяет рассчитать текущую скорость вращения колеса.

Цифровую обработку сигнала, его накопление и передачу данных в ПК осуществляет микроконтроллер MSP430F149, сигналы переводятся из цифрового кода в физическую величину и корректируются в соответствии с калибровочными коэффициентами, связь с ПК через интерфейс USB. Принятые данные визуально отображаются с помощью интерфейсной программы. В виду возможности одновременного подключения большого числа различных датчиков, для облечения визуального контроля за регистрацией данных полученных от датчиков, в режиме реального времени, окно интерфейсной программы разделено на несколько окон и вкладок (рис. 4.11 - 4.13). На выкладке «группа графиков №1» в верхнем окне отображаются данные от датчиков скорости вращения колес, в нижнем датчики давления и перемещения.

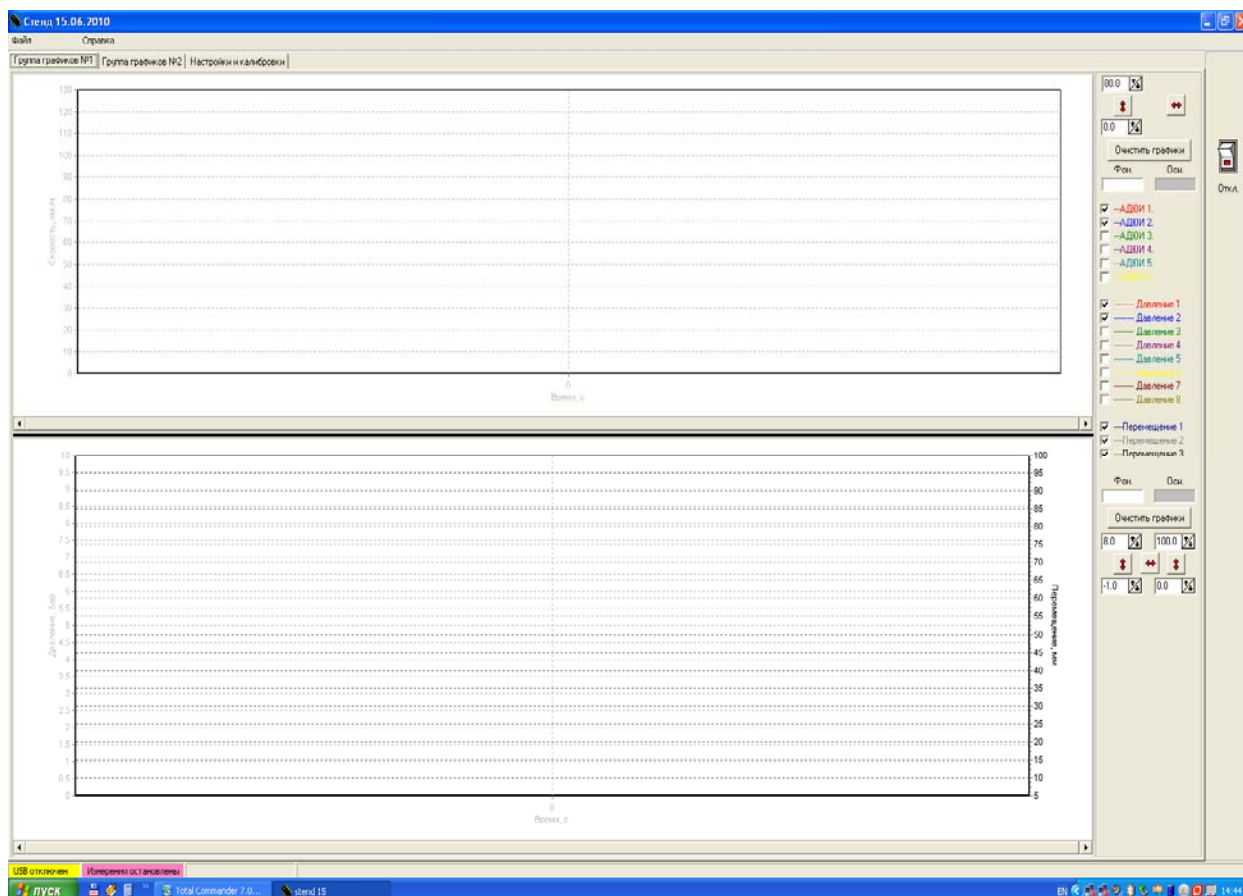


Рис. 4.11. Общий вид интерфейсной программы, окно выкладки «группа графиков №1».

Для включения режима отображения данных с датчика, необходимо установить галочку напротив соответствующего обозначения канала, расположенного в правой части окна. На выкладке «группа графиков №2» отображаются данные с датчиков усилия и ускорений рис. 4.12.

После подключения любого датчика, каждый канал независимый, т.е. подключение датчика не вызывает сбоев в регистрации от других датчиков, необходимо его активировав на выкладке «Настройки и калибровки» (рис. 4.13) поставив галочку напротив соответствующего обозначения канала. Также на этой выкладке задаются настроечные коэффициенты и константы, имеется возможность включить фильтрацию сигналов с индуктивных датчиков скорости и менять частоту опроса датчиков.

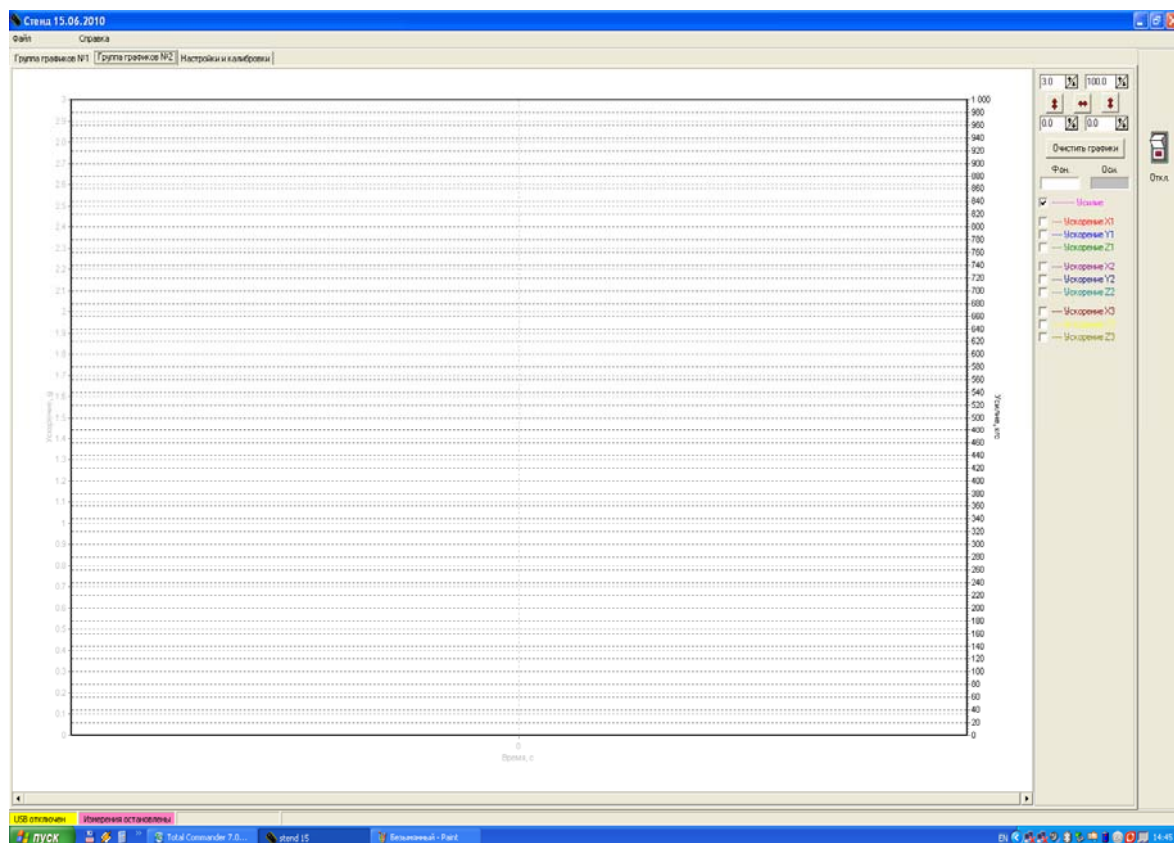


Рис. 4.12. Окно интерфейсной программы «группа графиков №2».

Рис. 4.13. Окно интерфейсной программы «Настройки и калибровки».

4.2. Методика и результаты исследования рабочих процессов и характеристик пропорционального модулятора в контуре электронно-пневматической тормозной системы

Согласно программы проведения исследований контура ЭПТС с пропорциональным модулятором на лабораторной установке вначале определялась статическая характеристика пропорционального модулятора, затем выполнялись исследования динамики рабочих процессов в контуре ЭПТС.

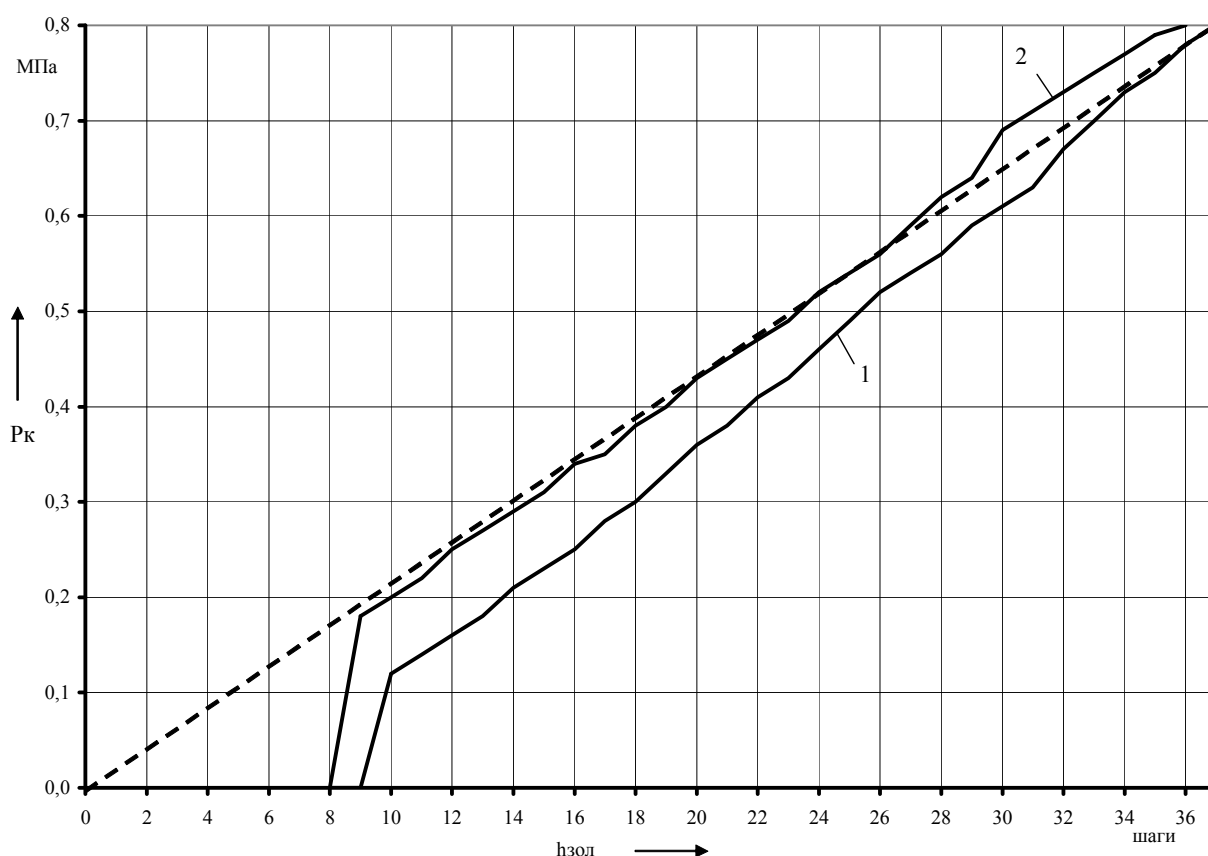


Рис. 4.14. Экспериментальная статическая характеристика исследуемого пропорционального модулятора $P_k = f(h_{зол})$:

1 — затормаживание;

2 — растормаживание;

----- — условная линия идеальной статической характеристики.

Определение параметров статической характеристики выполнялось для пропорционального модулятора, следующим образом. На инерционном стенде был смонтирован контур ЭПТС (рис. 3.1) и измерительный комплекс (рис. 4.3). В ресивере 4 рис. 4.1 было установлено давление 0,8 МПа. С помощью интерфейсной программы рис. 3.10 на шаговый электродвигатель подавался на один шаг (один шаг золотника 13 (рис. 3.4) соответствует перемещению 0.157 мм) и фиксировалось установившееся давление в тормозной камере 11 (рис. 4.1) с помощью измерительного комплекса.

Полученная экспериментальная зависимость (рис. 4.14) в полной мере соответствуют расчётным значениям и предъявленным требованиям. Следует отметить достаточно высокое качество следящего действия во всём диапазоне работы пропорционального модулятора как при затормаживании, так и при растормаживании. Гистерезисные потери практически во всём диапазоне работы незначительны, при максимальном значении давления в тормозной камере гистерезис составляет один шаг шагового электродвигателя и при снижении давления увеличивается до двух. Однако можно уменьшить величину гистерезиса и приблизить статическую характеристику к идеальной, за счет алгоритма, описанного в разделе 3.

Получение динамической характеристики привода ЭПТС (рис. 4.15) выполнялось следующим образом. В ресивере 4 рис. 4.1 было установлено давление 0,65 МПа. Пропорциональный модулятор соединялся с тормозной камерой трубопроводом с внутренним диаметром 8 мм и длиной 40 мм. Педаль приводилась в действие с темпом менее 0,2 с. [2, 112].

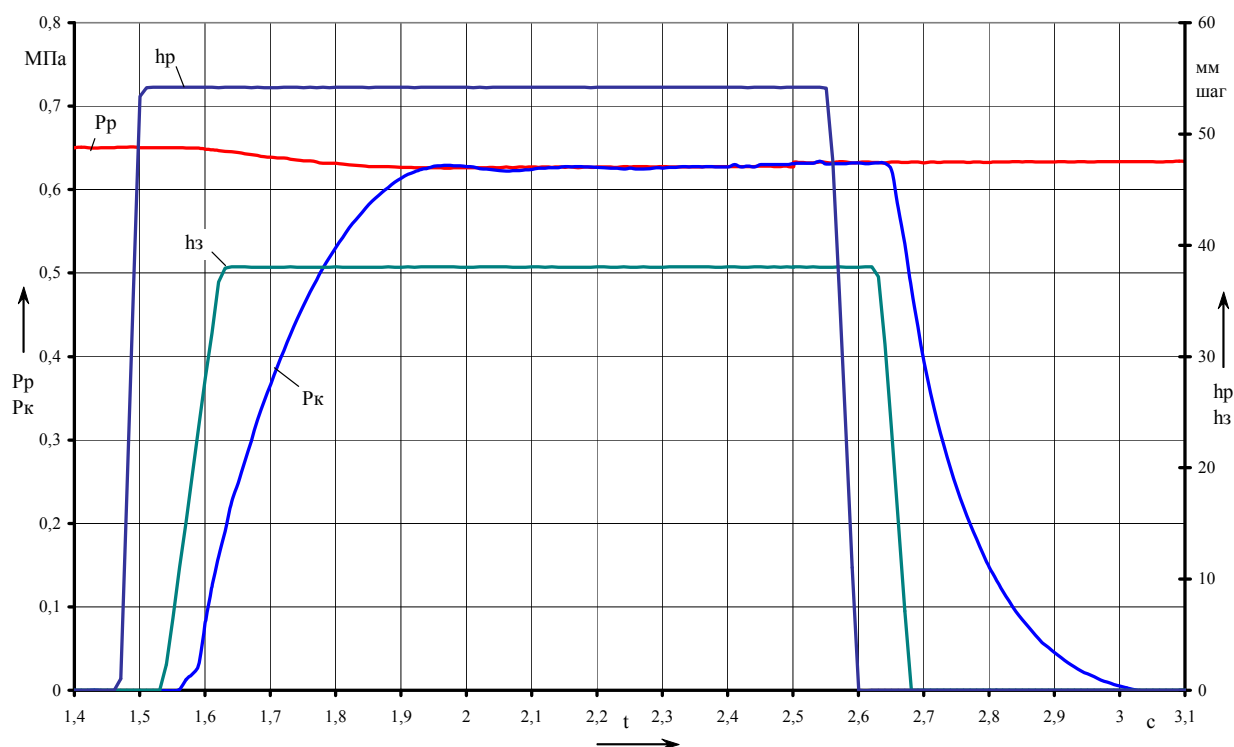


Рис. 4.15. Экспериментальная динамическая характеристика исследуемого контура ЭПТС с пропорциональным модулятором.

Критериями оценки динамической характеристики пневматического тормозного привода являются следующие параметры (рис. 4.16).

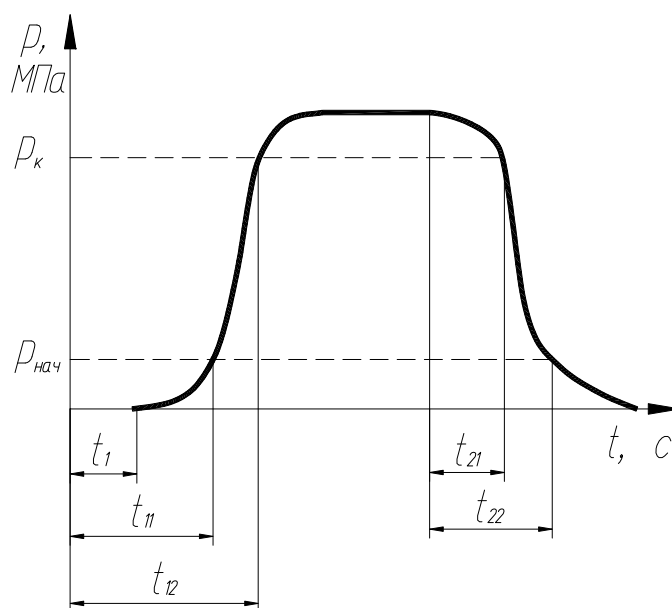


Рис. 4.16. Динамическая характеристика пневматического тормозного привода АТС.

Заданной точкой при торможении является изменения на 10%, а заданной конечной точкой – на 75% от полной величины изменения давления [112, 113].

- время запаздывания при торможении t_{11} (от момента времени приложения усилия к органу управления до момента времени, в который давление достигает заданной начальной точки $p_{нач}$);

- время срабатывания привода при торможении t_{12} (от момента времени приложения усилия к органу управления до момента времени, в который давление достигает заданной конечной точки p_k);

- время запаздывания привода при растормаживании t_{21} (от момента времени уменьшения усилия на органе управления до момента времени, в который давление достигает заданной конечной точки p_k);

- время растормаживания привода t_{22} (от момента времени уменьшения усилия на органе управления до момента времени, в который давление достигает заданной конечной точки $p_{нач}$);

В результате проведенного эксперимента разработанного контура с пропорциональным модулятором были получены следующие результаты:

- время запаздывания при торможении t_{11} составило 0,14 с.;
- время срабатывания привода при торможении t_{12} составило 0,31 с.;
- время запаздывания привода при растормаживании t_{21} составило 0,14 с.;
- время растормаживания привода t_{22} составило 0,33 с.;

Сравнение экспериментально полученной динамической характеристики исследуемого контура ЭПТС с пропорциональным модулятором рис. 4.15 и динамической характеристики полученной с помощью математической модели (рис. 2.10) показало, что разработанная математическая модель обеспечивает погрешность не более 5%.

На следующем этапе исследования динамических характеристик контура ЭПТС были выполнены исследования по определению влияния рабочей частоты работы шагового электродвигателя на динамическую характеристику контура ЭПТС с пропорциональным модулятором. Способ получения

динамических характеристик аналогичен, описанному выше, но при этом в алгоритме изменялась рабочая частота шагового электродвигателя с дискретностью 50 шагов/с. В результате были получены характерные осциллограммы переходных процессов в приводе, приведенные на рис. 4.17.

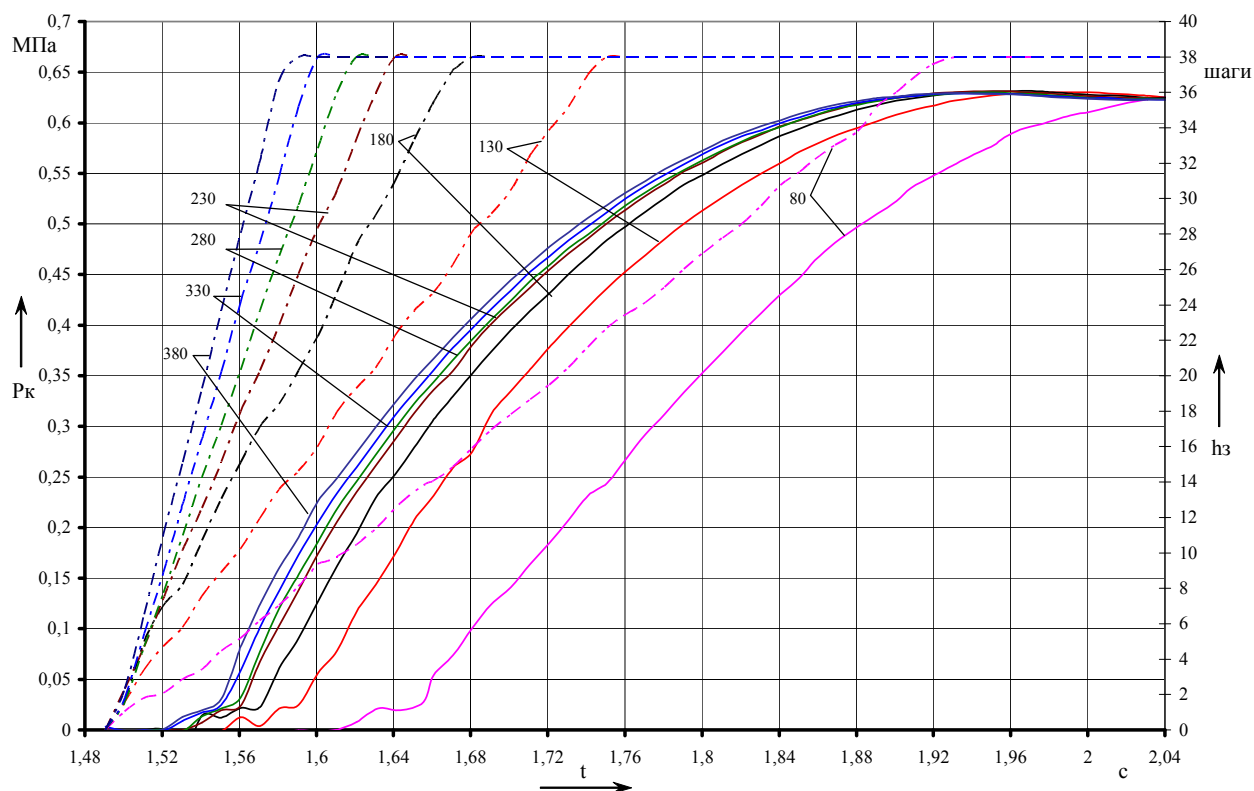


Рис. 4.17. Влияние рабочей частоты работы ШЭД на динамическую характеристику контура ЭПТС с пропорциональным модулятором:

- положение вала ШЭД;
- давление в тормозной камере.

В результате анализа полученных осциллограмм было выявлено, что изменение величины рабочей частоты в пределах 380-230 шагов/с. практически не оказывают влияния на быстродействие привода. Этот факт говорит о том, что для пропорциональных модуляторов высокое быстродействие не нужно, а значит, появляется возможность при создании опытных образцов пропорциональных модуляторов использовать шаговые электродвигатели

небольшой мощности. Дальнейшее снижение рабочей частоты ШЭД приводит к снижению темпа наполнения тормозной камеры, причем существенное влияние на увеличение времени наполнения оказывает задержка по срабатыванию модулятора, т.е. чем дольше закрывается выпускной клапан, чем больше величина задержки.

4.3. Оценка эффективности разработанного контура электронно-пневматической тормозной системы с пропорциональным модулятором при торможении колеса в экстренном режиме

Оценка эффективности при экстренном торможении разработанного контура ЭПТС проводилась на большом инерционном стенде в соответствии методикой, описанной в Правилах № 13 ЕЭК ООН [2, 3], с начальной скоростью торможения 60 км/ч.

Согласно, Правил № 13 ЕЭК ООН оценка эффективности АБС проводится в следующем порядке. На первом этапе производится торможение транспортного средства на пределе блокирования колеса, как груженого, так и порожнего, т.е. подбирается такое давление в питающей магистрали, которое обеспечивает, при экстренном нажатии на педаль тормоза, качение колес транспортного средства на пределе блокирования. Однако в методике [2, 3] нет четкого определения предела блокирования колеса, а предложенная методика определения грани блокирования. Проводится экстренное торможение транспортного средства при давлении в питающей части $P_{нач}$, при дальнейших торможениях давлении в питающей части должно повышаться с шагом 0,05 МПа, когда колеса транспортного средства начнут блокироваться, текущее давление в питающей части снижается на 0,025 МПа и данное торможение считается на грани блокирования.

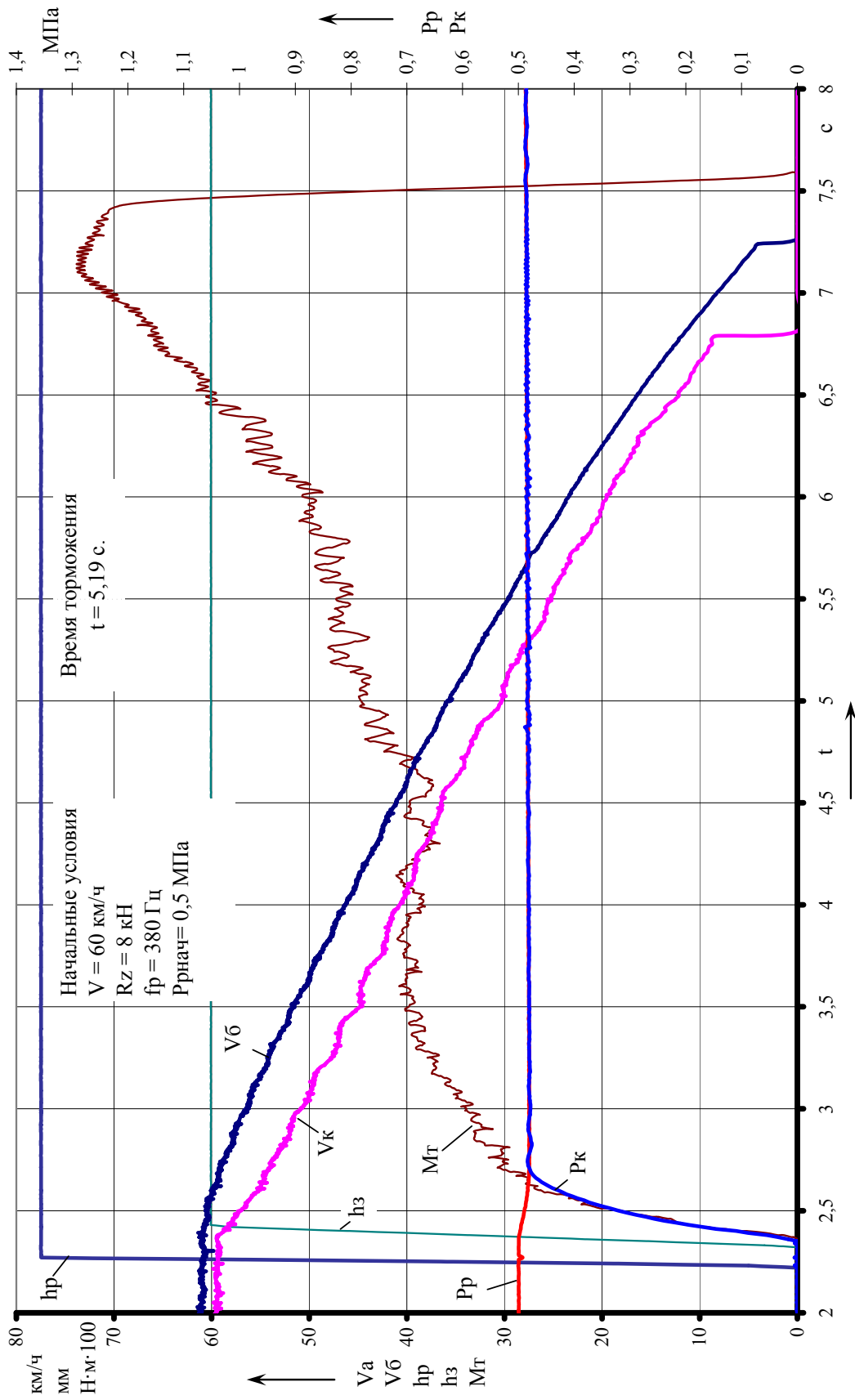


Рис. 4.18. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы без функции ABS при качении колеса без блокирования во всем диапазоне скоростей.

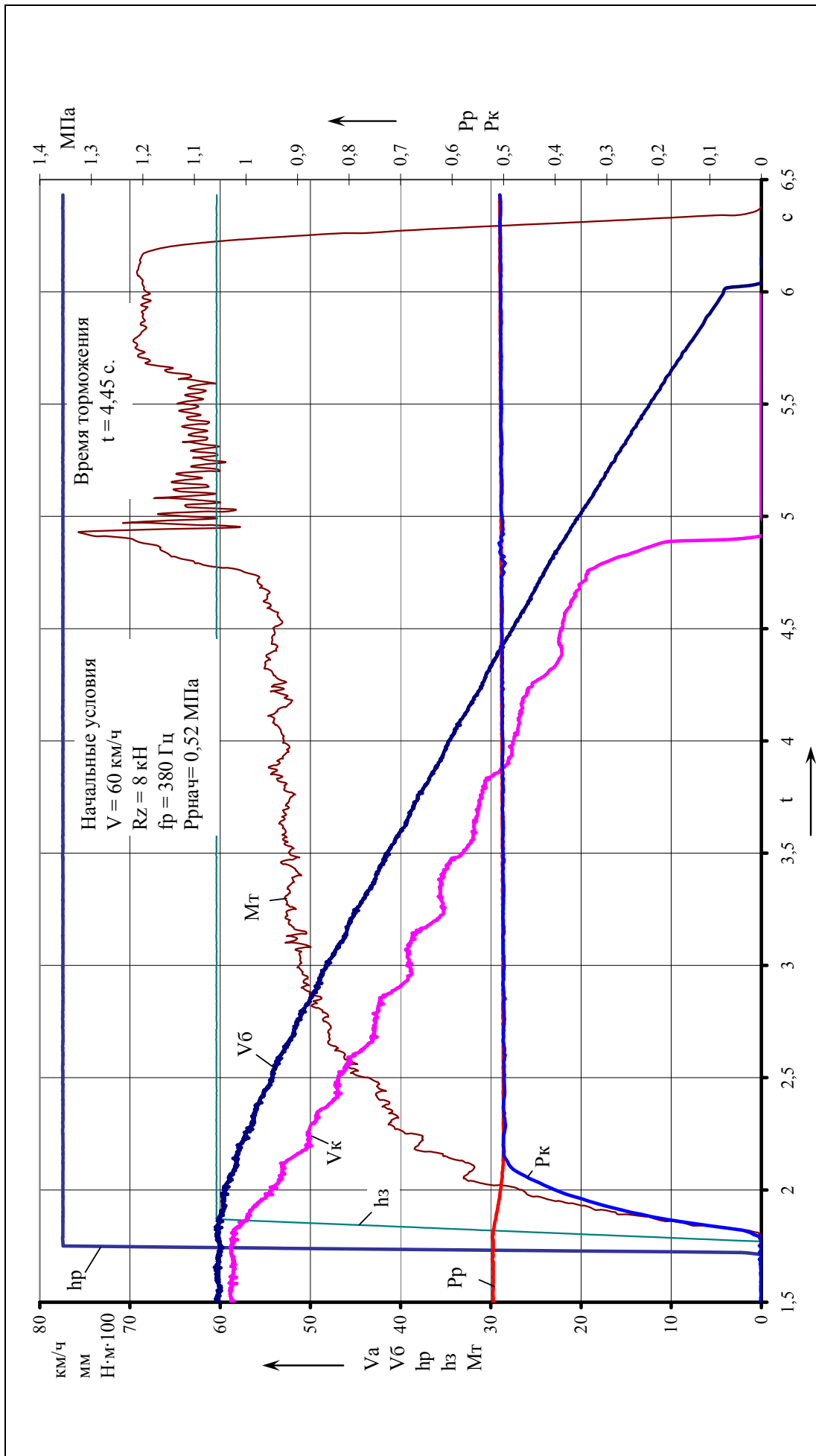


Рис. 4.19. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы без функции АБС при качении колеса с блокированием в интервале скоростей от 20 до 10 км/ч..

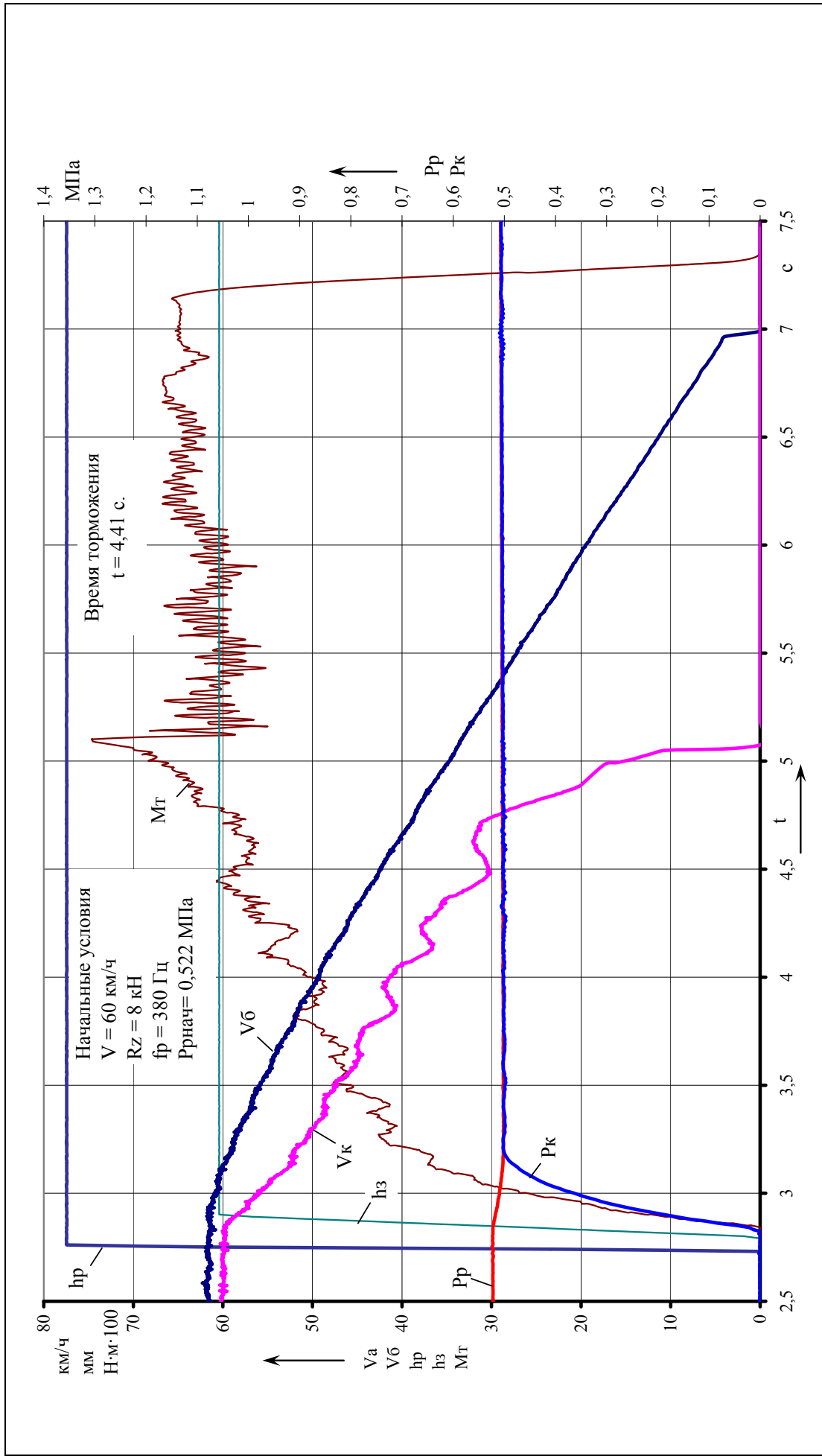


Рис. 4.20. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы без функции АБС при качении колеса с блокированием при скорости выше 20 км/ч.

На осциллограммах рис. 4.18 – 4.20 и осциллограммах приведенных ниже, приняты следующие обозначения:

- V – начальная скорость торможения колеса, км/ч;
- R_z – вертикальная нагрузка на колесо, Н;
- f_p – рабочая частота шагового электродвигателя в прямом направлении, Гц;
- V_6 – скорость барабана, км/ч;
- V_k – скорость колеса, км/ч;
- M_T – тормозной момент, Н·м · 10²;
- h_p – положение педали;
- h_3 – положение ЗРЭ;
- P_k – давление в тормозной камере, МПа;
- P_p – давление в ресивере, МПа;
- P_n – давление в нагрузочном пневмоцилиндре, МПа;
- P_1 – величина порогового значения на растормаживание колеса;
- P_2 – величина порогового значения на затормаживание колеса.

Экспериментальные исследования по определению грани блокирования показали, что для одного тормозящего колеса в стендовых условиях точность установления давления в питающей части 0,025 МПа является слишком грубой. При сравнении экспериментальных осциллограмм качения колеса, при поиске предела блокирования (рис. 4.18 и рис. 4.19) (нагрузка на колесо 8000 Н, все эксперименты проводись на разогретом тормозном механизме до 100 °С) получилось, что время торможения сократилось на 0.74 с. Если полученное время отнести к общему времени торможения при эксперименте (рис. 4.18), то разница составит около 17 %. Таким образом, для более точной оценки эффективности разработанного контура ЭПТС с пропорциональным модулятором, пределом блокирования в стендовых условиях мы будем считать такое качение колеса в тормозном режиме, при котором блокирование колеса происходит в интервале скоростей от 20 до 10 км/ч. Интервал скоростей

выбирался из следующих соображений: скорость ниже 8 км/ч датчик установленный на колесе (рис. 4.6) не регистрирует, а измерительный комплекс (рис. 4.3) показывает значение скорости равным нулю, это хорошо видно из рис. 4.14; верхний предел 20 км/ч установлен по той причине, что более раннее блокирование колеса недопустимо, т.к. происходит потеря устойчивости транспортного средства, хотя может приводить к повышению эффективности торможения, на поверхности с высоким коэффициентом сцепления, рис. А.2 и рис. А.3 приложения А.

При детальном анализе характерных осциллограмм переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы без функции АБС при качении колеса на грани блокирования (рис. 4.18 - 4.20) и приложения А, можно выделить несколько закономерностей:

- при установившемся давлении в тормозной камере тормозной момент растет со снижением скорости, причем в некоторых случаях (рис. 4.18 и рис. А.1 приложения А) происходило двукратное увеличение момента, это означает, что с уменьшением скорости коэффициент сцепления растет, следовательно возможно реализовать больший тормозной момент. Как правило, самый больший тормозной момент наблюдается в конце торможения при заблокированном колесе. Подобные явления подтверждены работами Кнороза В.И. [108];

- характер качения колеса, если оно недоторможено, является почти линейным и практически не наблюдаются колебания угловой скорости колеса (рис. 4.18 и рис. А.1 приложения А). Но если колесо заставить катиться при торможении на пределе блокирования (рис. 4.19 и рис. А.2 приложения А), то можно заметить, что процесс качения колеса является колебательным, хотя давление в тормозной камере остается постоянным. На осциллограммах (рис. 4.20 и рис. А.3 приложения А) хорошо видно, что амплитуда колебаний увеличивается с уменьшением скорости колеса. Такая особенность качения колеса при торможении на грани блокирования может быть вызвана упругими свойствами шины, а именно закручиваем шины в радиальном направлении, что

необходимо учитывать при разработке математической модели процесса качения тормозящего колеса.

На втором этапе оценки эффективности разработанной ЭПТС производилось экстренное торможение колеса в антиблокировочном режиме, также нагруженного и разгруженного колеса, по алгоритму с выбранными пороговыми величинами, описанными в разделе 3. Проведенные экспериментальные исследования, осциллограммы (рис. 4.21- 4.22), показали, что введение в алгоритм прекращения процесса регулирования при скорости ниже 15 км/ч позволяет повысить эффективность торможения, однако при маленькой нагрузке на колесо (рис. 4.21) наблюдается резкое падение тормозного момента и эффективности, поэтому дальнейшим направлением в совершенствовании предложенного алгоритма должно быть изменение порогового значения при изменении скорости колеса. Также следует отметить, что количество циклов срабатывания модулятора значительно отличается - 11 при маленькой нагрузке (рис. 4.21) и 5 соответственно при большой (рис. 4.22). Это означает, что при маленькой нагрузке, колесо быстрее стремится заблокироваться, порог на растормаживание приходит быстрее и система срабатывает чаще. Поэтому при маленькой нагрузке на колесо давление в тормозной камере не успевает достигать максимального значения, кроме первых и последних циклов.

На третьем этапе экспериментальных исследований производился расчет эффективности, по соответствующей методике [2, 3].

Критерием оценки эффективности является реализуемая сила сцепления ε , которая определяется по следующей зависимости:

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{k_M}, \quad (4.1)$$

где: Z_{AL} - максимальный коэффициент торможения при включенной антиблокировочной системе;

k_M - коэффициент сцепления.

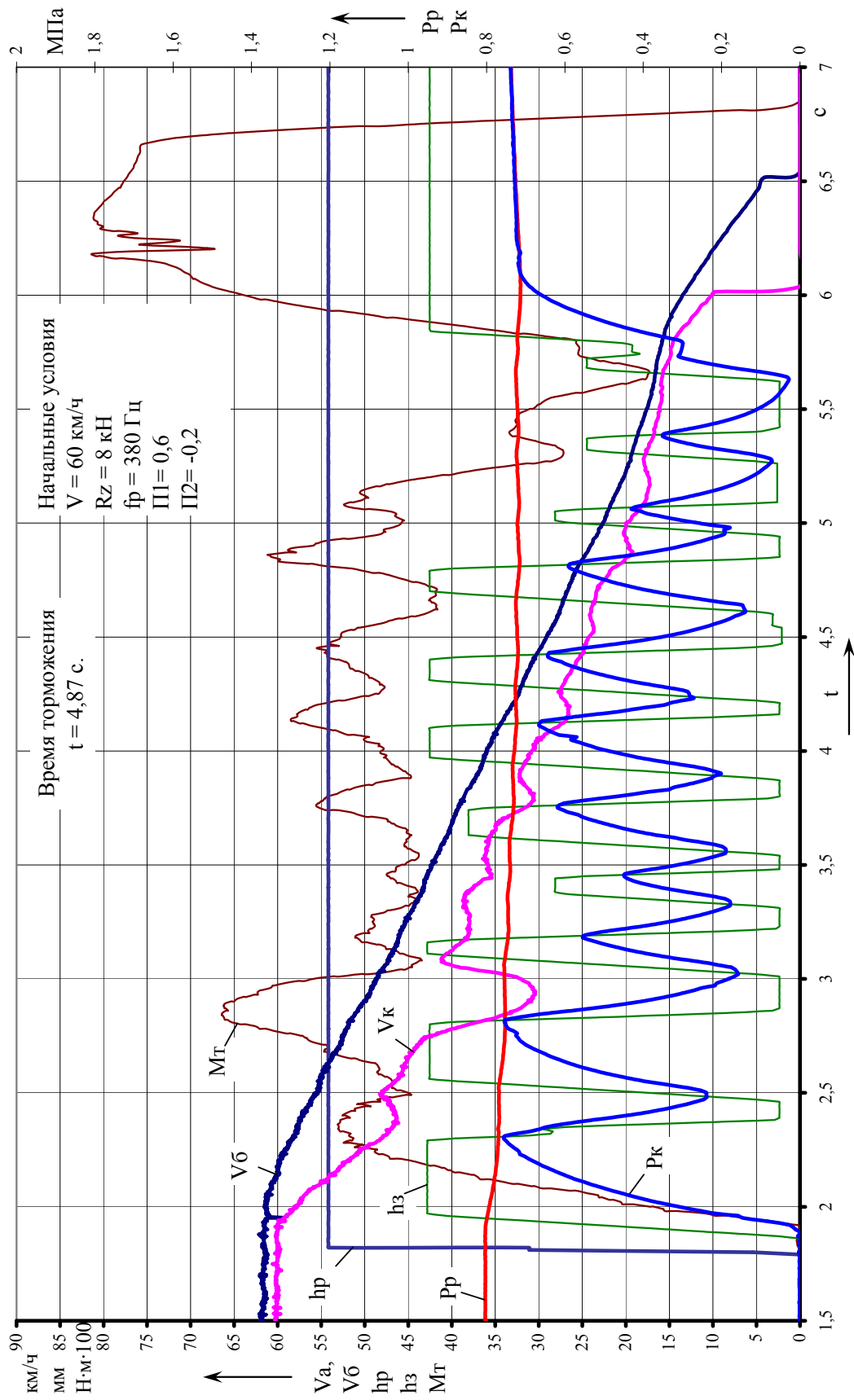


Рис. 4.21. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы с функцией ABS при нагрузке на колесо 8 кН.

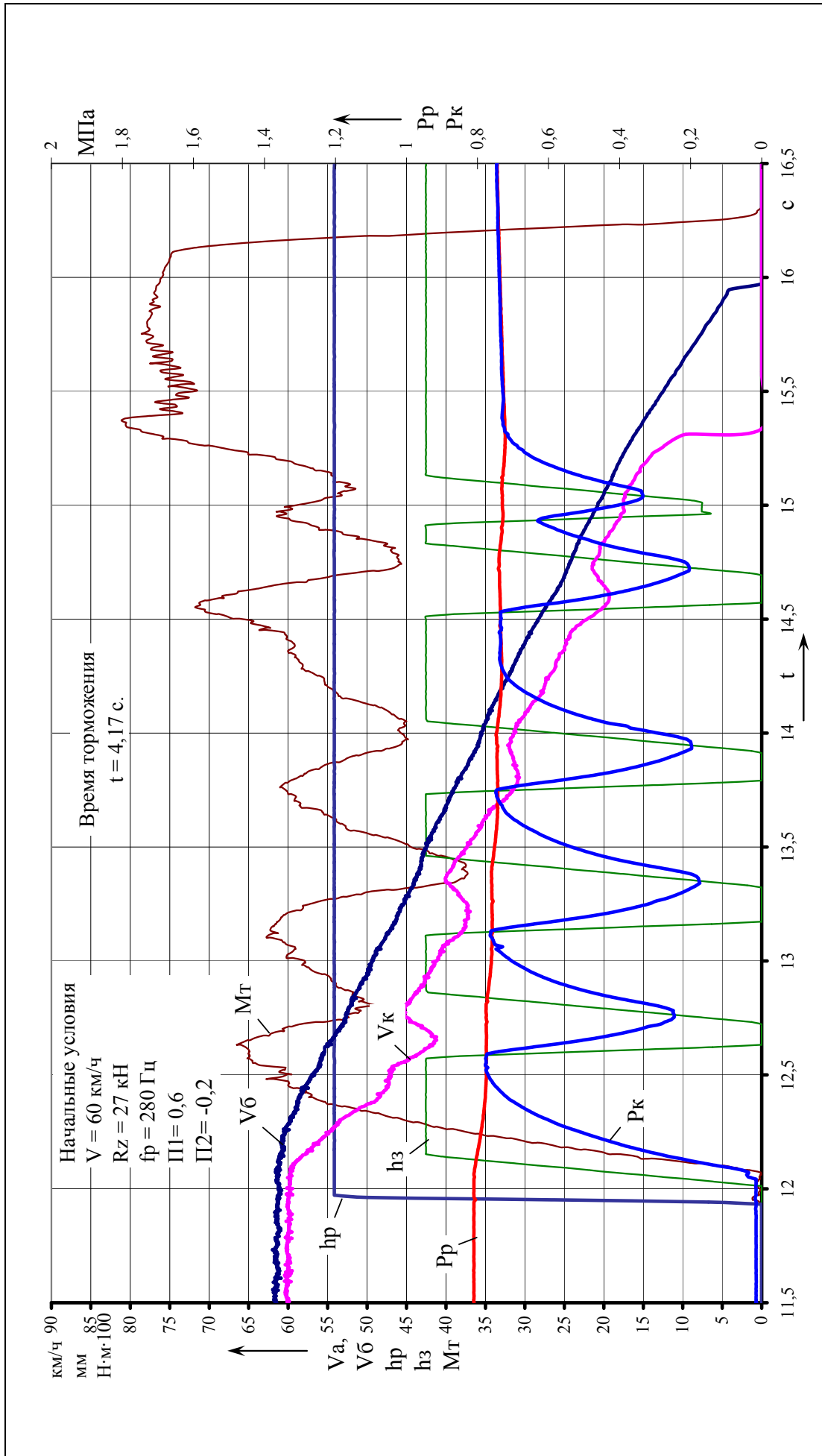


Рис. 4.22. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы с функцией АБС при нагрузке на колесо 27 кН.

Максимальный коэффициент торможения Z_{AL} измеряется при включенной антиблокировочной системе, заданного для снижения скорости с 45 км/ч до 15 км/ч, по следующей формуле

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{t}. \quad (4.2)$$

Коэффициент сцепления k_M определяется методом взвешивания с учетом динамических нагрузок на ось определяется по зависимости:

$$k_M = \frac{k_f \cdot F_{fdyn} + k_r \cdot F_{rdyn}}{P \cdot g}, \quad (4.3)$$

где: P - масса транспортного средства, кг;

k_f - коэффициент сцепления передней оси;

k_r - коэффициент сцепления для задней оси.

При проведении экспериментов на инерционном стенде перераспределения нагрузки не происходит, поэтому коэффициент сцепления равняется коэффициенту максимального коэффициента торможения транспортного средства (Z_{max}) который определяется из выражения:

$$Z_{max} = \frac{0.566}{t}. \quad (4.4)$$

Коэффициент торможения для затормаживаемого колеса, катящегося на грани блокирования определяется из расчета заданного промежутка времени (t) для скорости, понижающейся с 40 км/ч до 20 км/ч.

Необходимые значения времен были получены из осциллограмм, а результаты сведены в таблицу 4.3.

**Результаты расчетов по оценке эффективности торможения
разработанного контура ЭПТС**

Нагрузка на колесо, кН	Время торможения, с		Расчетные параметры				
	на грани блокирования	в режиме АБС	$t_{Z_{AL}}$, с	Z_{AL}	$t_{Z_{max}}$, с	Z_{max}	ε
8	4,45	4,87	2,61	0,325	1,42	0,399	0,815
27	4	4,14	2,09	0,406	1,14	0,496	0,818

В результате проведенных расчетов эффективности разработанной ЭПТС при торможении одного колеса в стендовых условиях оказалась, что при разной нагрузке на колесо эффективность работы разработанного контура ЭПТС остаётся постоянной, и полученная эффективность удовлетворяет требованиям Правил №13 ЕЭК ООН [2, 3].

4.4. Влияние перераспределения нагрузки на процесс качения колеса при экстренном торможении

Как известно при торможении происходит перераспределение веса транспортного средства, передние колеса догружаются, задние разгружаются. Поэтому для оценки возможности использования одинакового алгоритма и контура ЭПТС как переднего, так и заднего колеса необходимо симитировать экстренное торможение при перераспределении веса. Однако в стендовых условиях подобное реализовать весьма затруднительно, в связи с этим обстоятельством были проведены два эксперимента при разгрузке колеса – имитация заднего колеса, и при нагружении колеса – имитация переднего колеса транспортного средства. Причем в процессе экспериментов, при нагружении колеса, усилие на колесо повышалось от минимального значения 8 кН до максимального 27 кН и при разгрузке колеса в противоположном направлении от 27 кН до 8 кН. Так как стенд не позволяет варьировать

материалами поверхности качения, а значение коэффициента сцепления φ можно выразить из выражения $R_x = \varphi \cdot R_z$.

Для контроля величины нагрузки на колесо, испытательный стенд был доработан датчиком давления в пневмоцилиндрах 15 рис 4.2, который записывал значения давления в нагрузочной части стенда для определения величины нагрузки. В данном случае был использован датчик давления Freescale Semicon-ductor серии MPX 5999D [109].

Проведенные экспериментальные исследования, осциллограммы на рис. 4.23, 4.24, показали, что алгоритм и разработанный контур ЭПТС с пропорциональным модулятором обеспечивают безблокировочное качение колеса. При этом сохраняются характерные особенности протекания процессов как в приводе, так и тормозного момента, а именно:

- на осциллограмме рис. 4.23 можно заметить, что в начале торможения поведения момента и давления в тормозной камере идентичны осциллограмме (рис. 4.21) (частота срабатываний модулятора и практически постоянный тормозной момент), и при увеличении нагрузки на колесо процессы начинают протекать идентично осциллограмме (рис. 4.22) (снижение частоты срабатывания модулятора и большие колебания тормозного момента);

- на осциллограмме (рис. 4.24), ситуация подобная, и также как на осциллограмме (рис. 4.21) наблюдается резкое падение тормозного момента, что привело к снижению эффективности на 6 % по сравнению с торможением при увеличении нагрузки осциллограмма (рис. 4.24).

Предложенная конструкция ЭПТС с пропорциональными модуляторами, даже при простом двухфазном алгоритме с прерыванием рабочего цикла, с одинаковыми порогами способна обеспечить безблокировочное качение колеса с достаточно высокой эффективностью. И поэтому возможно использовать одинаковые модуляторы и алгоритм, как для передней, так и для задней оси транспортного средства.

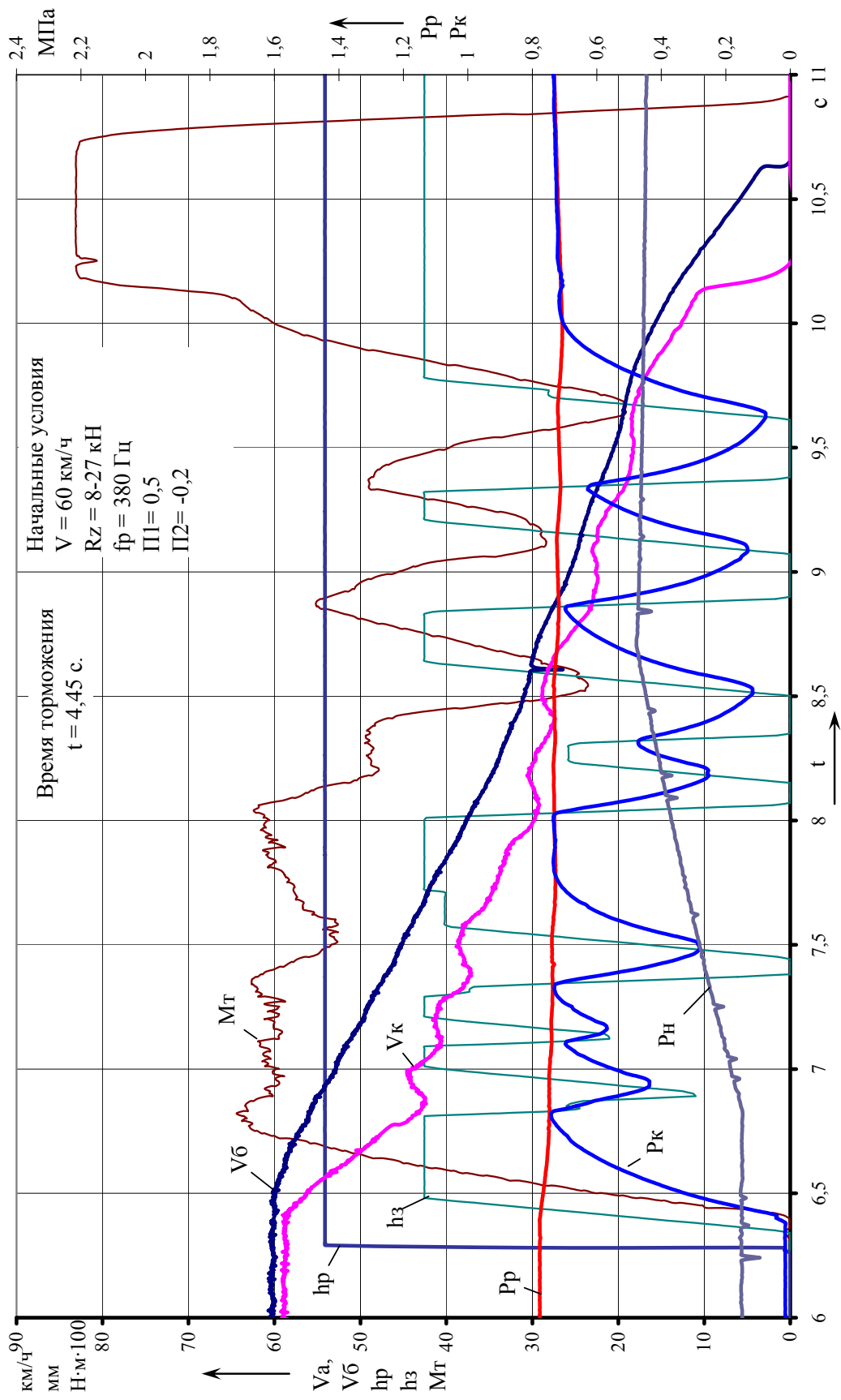


Рис. 4.23. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы с функцией ABS при повышении нагрузки (R_z) от 8 до 27 кН.

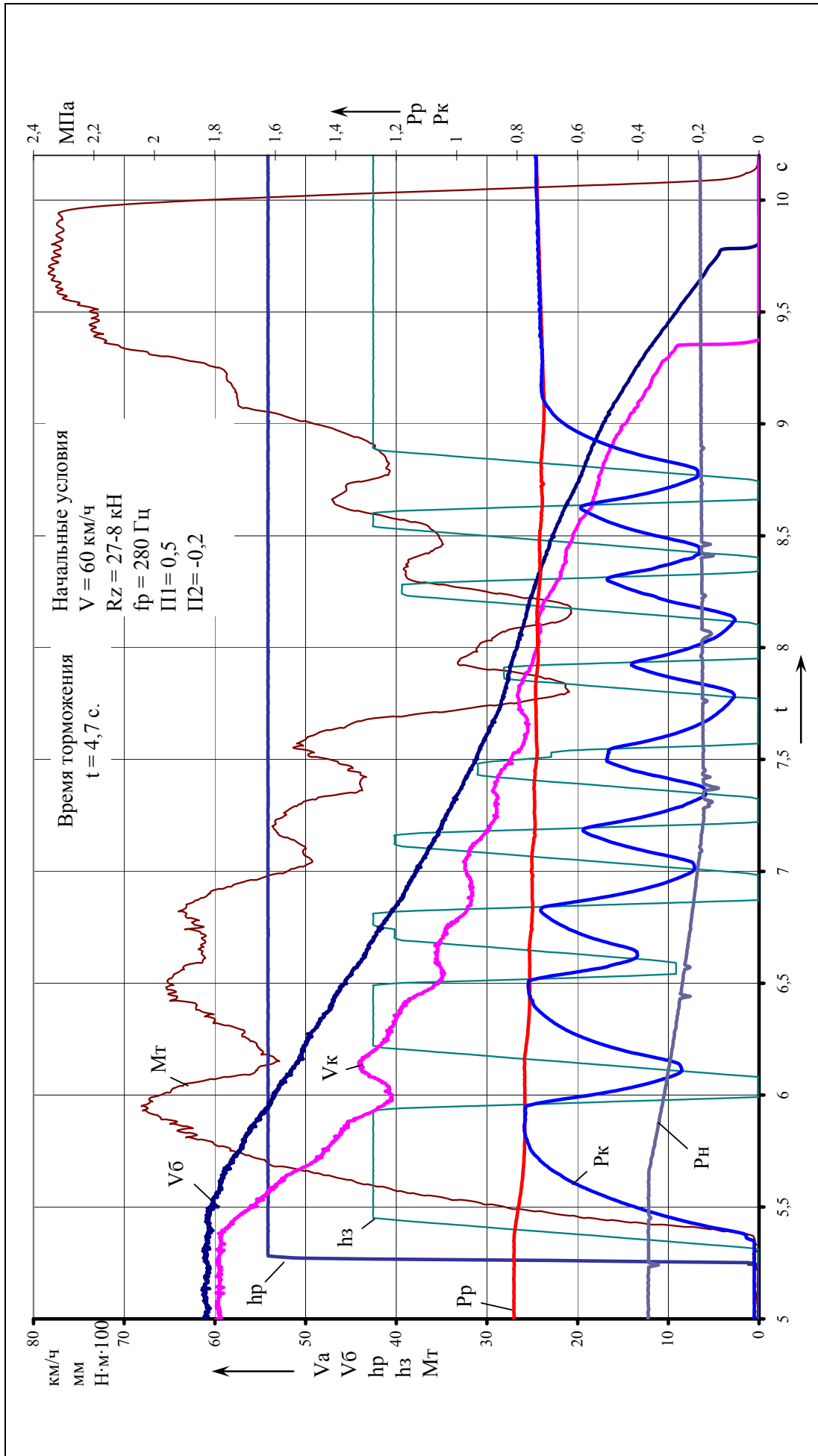


Рис. 4.24. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электропневматической тормозной системы с функцией АБС при уменьшении нагрузки (R_z) от 27 до 8 кН.

Выводы по разделу

1. Разработанный измерительно-регистрирующий комплекс позволяет получать осциллограммы переходных процессов с высокой точностью.
2. Проведенные экспериментальные исследования динами контура подтвердили адекватность разработанной модели, особенно на ветви наполнения, что важно для оценки быстродействия привода при проектировании.
3. Экспериментальные исследования разработанного пропорционального модулятора (Патент Украины № 36321 и Патент России № 2385242) позволили установить, что изменение рабочей частоты шагового электродвигателя при наполнении в пределах 380 – 230 Гц, что соответствует быстродействию модулятора 0,1 – 0,17с практически не оказывают влияния на время срабатывания привода.
4. При оценке эффективности торможения при выполнении функции АБС было установлено, что разработанный контур «перспективной» электронно-пневматической тормозной системы обеспечивает реализуемый коэффициент силы торможения $\varepsilon = 0,8 - 0,82$, независимо от нагрузки на колесо, при этом в пятне контакта шины с беговым барабаном находилось в пределах 0.17-0,25.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена научно-практическая задача совершенствования электронно-пневматической тормозной системы транспортных средств путем изменения способа получения действия. Основные результаты, полученные во время исследования, состоят в следующем:

1. Анализ электронно-пневматических тормозных систем показал, что они оборудуются релейными модуляторами, созданными с использованием электроклапанов. Для установления давления в тормозной камере при использовании релейного модулятора на стадии регулирования требуется от 2 до 5 срабатываний модулятора, а в целом за процесс торможения происходит 60 срабатываний. Указанное приводит к повышению требований к быстродействию и надёжности модулятора. Существенное влияние на количество срабатываний оказывает:

- объём и количество наполняемых тормозных камер;
- время срабатывания контура привода;
- температура сжатого воздуха.

2. Выполненный анализ литературных источников показал, что в электронно-пневматической тормозной системе рациональнее использовать пропорциональные модуляторы, которые позволяют устанавливать давление в тормозной камере пропорционально нажатию на педаль тормоза без использования датчика давления установленного после модулятора. Отсутствие специализированных работ по исследованию электропневматического тормозного привода с пропорциональным модулятором, в свою очередь вызывает необходимость дальнейшего проведения исследований электропневматического тормозного привода с целью усовершенствования электронно-пневматической тормозной системы.

3. Аналитически установлено и экспериментально подтверждено, что для обеспечения точности регулирования давления в тормозной камере равным 0,02 МПа, необходимо обеспечить рабочий ход запорно-регулирующего элемента (ЗРЭ) 5 мм с дискретностью перемещения ЗРЭ 0,157 мм, что

соответствует 38 шагам шагового электродвигателя с углом поворота ротора при одном шаге $1,8^\circ$.

4. Решение аналитических зависимостей позволило установить, что пропорциональный модулятор с шаговым электродвигателем обеспечивает время срабатывания привода 0,3 с.. Для обеспечения такого время срабатывания достаточно времени полного хода запорно-регулирующего элемента 0,1 с, что соответствует рабочей частоте шагового электродвигателя 380 Гц.

5. Экспериментальные исследования разработанного пропорционального модулятора (Патент Украины № 36321 и Патент России № 2385242) позволили установить, что изменение рабочей частоты шагового электродвигателя при наполнении в пределах 380 – 230 Гц, что соответствует быстродействию модулятора 0,1 – 0,17с. практически не оказывают влияния на время срабатывания привода.

6. В пределах научного эксперимента установлено, что наилучшая эффективность торможения обеспечивается при пороговом значении на растормаживании 0.6 и пороговом значении на затормаживание -0,2. На величину порогового значения функции АБС нагрузка на колесо заметного влияния не оказывает.

7. Экспериментально установлено, что при работе электронно-пневматической тормозной системы в режиме выполнения функции АБС требуется в алгоритме обязательно учитывать прекращение процесса регулирования при скорости колеса ниже 15 км/ч, т.е. дается команда на полное затормаживание. Это позволяет повысить эффективность торможения и не приведёт к потере устойчивости транспортного средства.

8. При оценке эффективности экстренного торможения электронно-пневматической тормозной системой было установлено, что разработанная электронно-пневматическая тормозная система обеспечивает реализуемый коэффициент силы торможения $\varepsilon = 0,8 - 0,82$, при этом количество срабатываний модулятора уменьшилась в среднем в 7 раз.

Приложение А.

Экспериментальные осциллограммы определения предела
блокирования с нагрузкой на колесо 27 кН

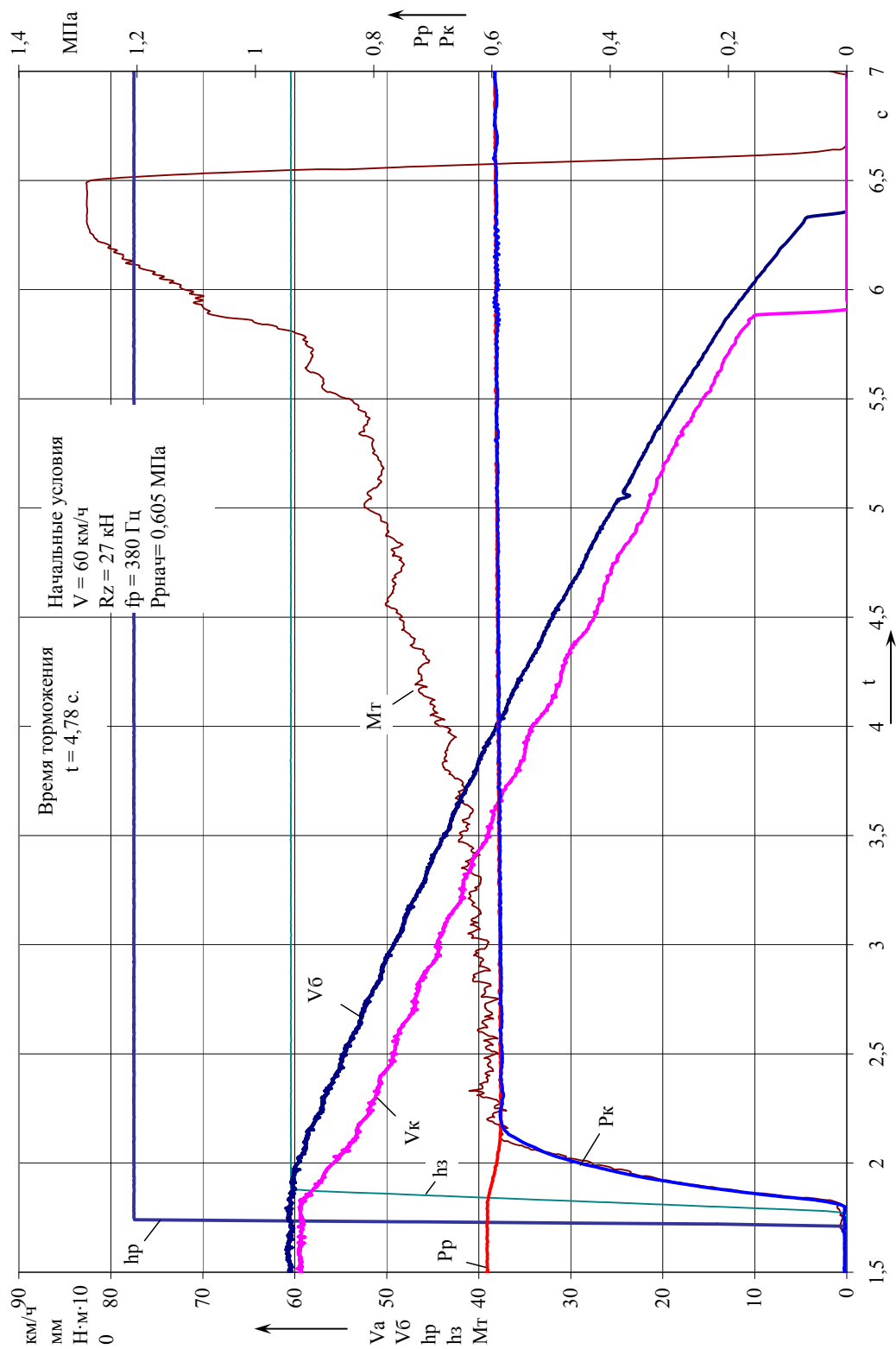


Рис. А.1. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы без функции АБС при качении колеса без блокирования во всем диапазоне скоростей..

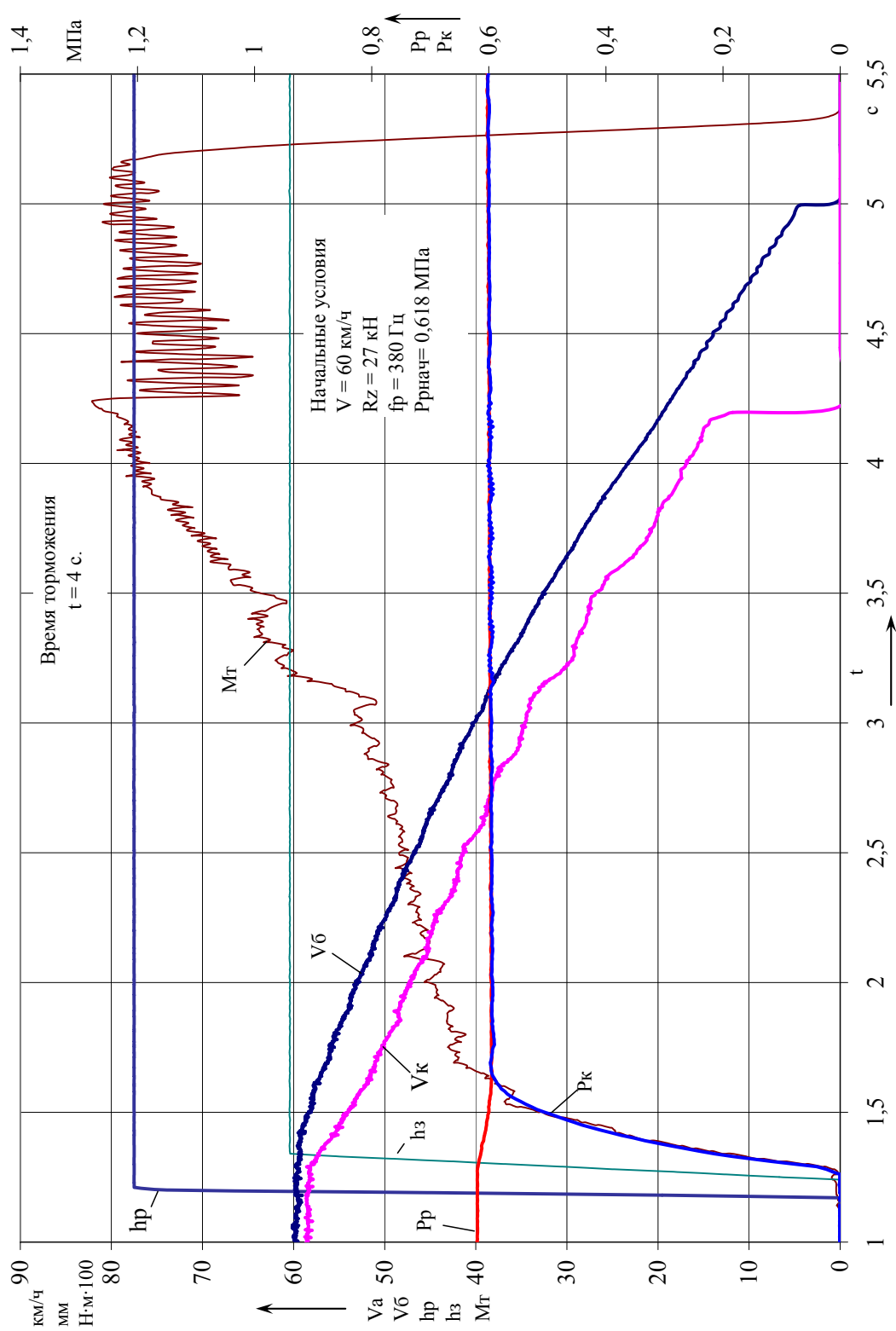


Рис. А.2. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы без функции АБС при качении колеса с блокированием в интервале скоростей от 20 до 10 км/ч.

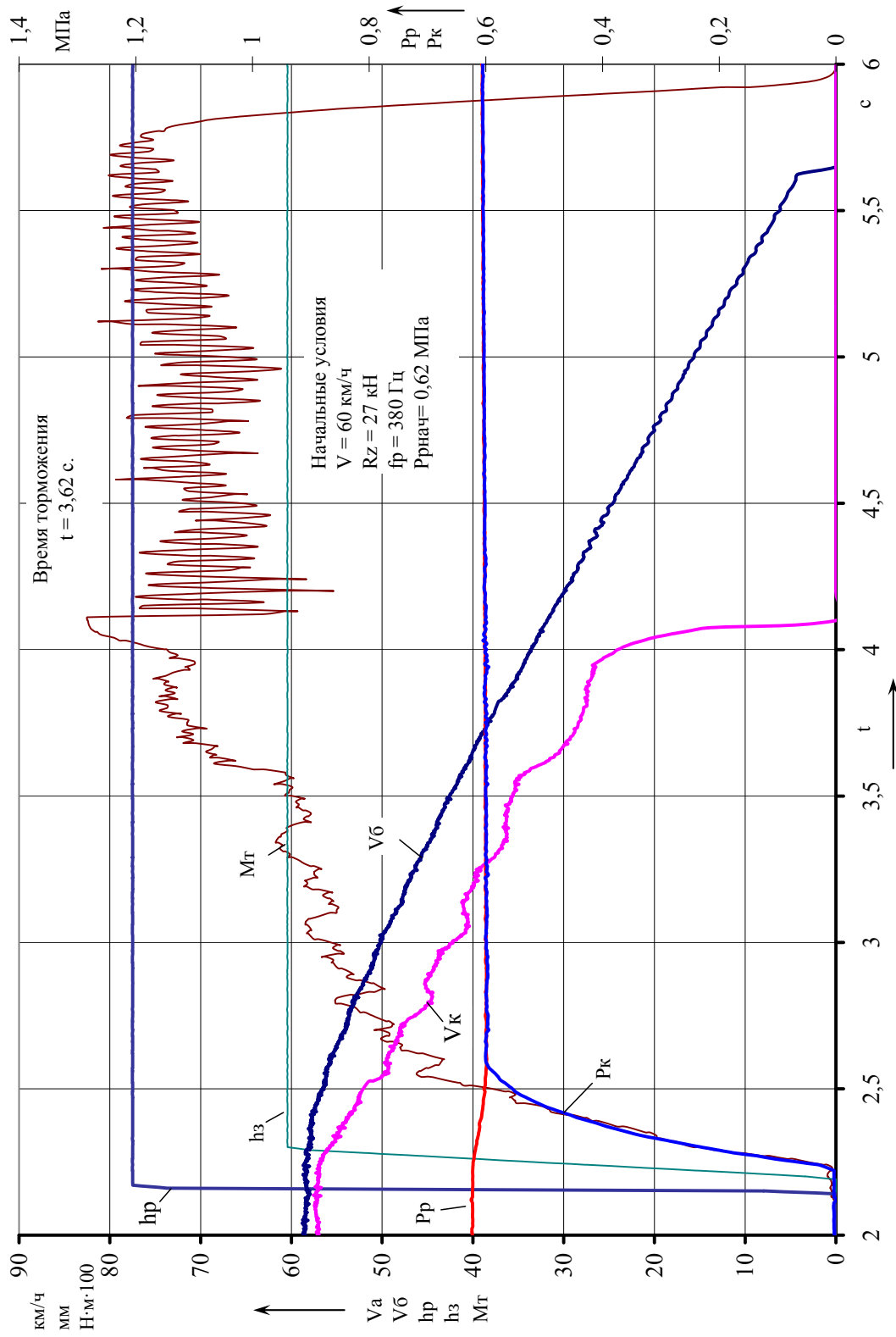


Рис. А.3. Характерная осциллограмма переходного процесса в контуре рабочей электронно-пневматической тормозной системы без функции АБС при качении колеса с блокированием при скорости выше 20 км/ч.

Приложение Б.

Патенты



(11) 36321

ПРОПОРЦІОНАЛЬНИЙ МОДУЛЯТОР ЕЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ

(57) Формула корисної моделі:

Пропорціональний модулятор електронно-пневматичної гальмівної системи, що містить корпус, у порожнині якого встановлений золотник, що має на зовнішній бічній поверхні зубчасту рейку, зв'язану з шестірнею вала крокового електроприводу, у корпусі модулятора виконані канали, один із яких з'єднує порожнину в модуляторі з виконавчим органом (гальмовою камерою), а другий канал - ресивер стисненого повітря із впускним клапаном, який відрізняється тим, що в корпусі модулятора розташований, притиснутий пружиною правим торцем відносно кришки корпуса, а лівим - відносно упора в корпусі, пневмопоршень, у середині (у порожнині) якого встановлений впускний клапан, підгорнутий пружиною до сидла в пневмопоршні, виконаний разом із сидлом випускного клапана, що вільно контактує із правим торцем золотника, підгорнутого лівим торцем до корпусу пружиною, установленою між правим торцем золотника та пневмопоршнем, виконавчий орган (гальмова камера) з'єднаний з атмосферою через канал у корпусі, відкритий випускний пневмоклапан, осьові отвори у впускному пневмоклапані, поршне і кришку модулятора.



УКРАЇНА

 (19) **UA** (11) **36321** (13) **U**
 (51) **МПК (2006)**
B60T 8/36
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ
Видється під
відповідальністю
власника
патенту**(54) ПРОПОРЦІОНАЛЬНИЙ МОДУЛЯТОР ЕЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ**

(21) u200805078

(22) 21.04.2008

(24) 27.10.2008

(46) 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.

(72) ТУРЕНКО АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ІА,
ЛОМАКА СТЕПАН ЙОСИПОВИЧ, ІА, КЛИМЕНКО
ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, ІА, РИЖИХ ЛЕОНІД ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ІА,
ТИШКОВЕЦЬ СЕРГІЙ ВІКТРОВИЧ, ІА, ЛЕОНТЬЄВ ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ, ІА,
ЧЕБАН АНДРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, ІА, КРАСЮК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ, ІА

(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, ІА, ТУРЕНКО АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ІА, КЛИМЕНКО ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, ІА, ЛОМАКА СТЕПАН ЙОСИПОВИЧ, ІА, РИЖИХ ЛЕОНІД ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ІА, ТИШКОВЕЦЬ СЕРГІЙ ВІКТРОВИЧ, ІА, ЛЕОНТЬЄВ ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ, ІА, ЧЕБАН АНДРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, ІА, КРАСЮК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ, ІА

(57) Пропорційнальний модулятор електронно-пневматичної гальмівної системи, що містить кор-

пус, у порожнині якого встановлений золотник, що має на зовнішній бічній поверхні зубчасту рейку, зв'язану із шестірнею вала крокового електродвигуна, у корпусі модулятора виконані канали, один із яких з'єднує порожнину в модуляторі з виконавчим органом (гальмовою камерою), а другий канал - ресивер стисненого повітря із впускним клапаном, який відрізняється тим, що в корпусі модулятора розташований, притиснутий пружиною правим торцем відносно кришки корпусу, а лівим - відносно упору в корпусі, пневмопоршне, усередині (у порожнині) якого встановлений впускний клапан, підгорнутий пружиною до сидла в пневмопоршні, виконаний разом із сидлом впускного клапана, що вільно контактує із правим торцем золотника, підгорнутого лівим торцем до корпусу пружиною, установленою між правим торцем золотника та пневмопоршнем, виконавчий орган (гальмівна камера) з'єднаний з атмосферою через канал у корпусі, відкритий впускний пневмоклапан, осьові отвори у впускному пневмоклапані, поршні і кришці модулятора.

Корисна модель відноситься до області машинобудування, а саме до гальмівних систем транспортних засобів.

Електронно-пневматична гальмівна система, як правило, має електронно-пневматичний гальмівний привод і може містити в собі регулятор гальмівних сил, антиблокувальну та протибуксовочну системи, систему забезпечення курсової та динамічної стійкості транспортного засобу, які функціонують при необхідності в певній послідовності при русі як на гальмівному, так і тяговому режимах. При застосуванні електронно-пневматичної гальмівної системи в якості робочої гальмівної системи передбачається її багатоконтурність (для двоколісного транспортного засобу - як мінімум два контури, один для передньої осі, другий для задньої осі). Ці контури працюють незалежно друг від друга і при виході з ладу одного з контурів, транспортний засіб загальмовується із запропонованою нормативною ефективністю для даного випадку, тобто забезпечується функція резервної (запасної) гальмівної системи.

Відомий пневматичний соленоїдний клапан утримує перший впускний канал, з'єднаний з першим джерелом тиску, другий впускний канал, з'єднаний із другим джерелом тиску, впускний канал, з'єднаний з камерою, підтримуваною під регульованим тиском, порожній корпус, у який виходить кожна із частин таким чином, що в ньому можна забезпечити її вибірне повідомлення, щонайменше, з однією іншою частиною; і електромагніт, прикріплений до корпусу та сердечник, що приводить у дію засоби встановлення вибірного повідомлення, нерухомий клапан і рухливий клапан, укладені в порожній корпус із забезпеченням можливості відкривання нерухомого клапана, коли рухливий клапан закритий, і навпаки, а ці клапани утворені валом, трубчастим рухливим стопорним елементом та ущільнюючою поверхнею, що перебуває під впливом електромагніта

2102265 С1 Пневматический соленоидный клапан В 60 Т 8/36. Заявка 95120162/11 от 19.01.1994 года. Публикация 20.01.1998. Опубликовано 20.10.1988г.].

Технічне рішення, використане в пропорційному пневматичному соленоїдному клапані, забезпечує можливість дії, що стежить, тобто регулювання тиску в гальмівній камері залежно від електричного сигналу електронного блоку, що дозволяє підвищити швидкодію.

Найбільш близьким до загальних конструктивних ознак, що заявляє по кількості, є модулятор електронної гальмової системи, що містить корпус, у порожнині якого поміщений золотник, зубчасту рейку, шестірню вала крокового електродвигуна та отвору. Золотник має наскрізний осьовий отвір і на зовнішній бічній поверхні по центрі зубчасту рейку. Зубчаста рейка пов'язана із шестірню вала крокового електродвигуна. Вал електродвигуна підгорнутий у вихідне положення пружиною. Два отвори в корпусі повідомлені з атмосферою, а одне перекрито золотником, при цьому отвір, перекритий у вихідному положенні золотником, безпосередньо з'єднано з ресивером стисненого повітря [РП 2314217 С2 Модулятор електронної тормозной системы В 60 Т 8/36. Заявка 2005111679/11 от 19.04.2005 года. Публикация 27.10.2006. Опубликовано 10.01.2008 2005r.].

Основним недоліком даного модулятора є те, що при роботі в складі електронно-пневматичної гальмівної системи для забезпечення дії, що стежить, при натисканні на підпедальний електричний модуль, пропорційність тиску у виконавчому органі (гальмівній камері) досягається за рахунок установився датчика тиску після модулятора. На практиці це приводить до того, що з'являється істотне запізнення в системі виконавчий елемент (модулятор) - датчик. При такому рішенні зворотний зв'язок по тиску реалізується зовнішніми (поза модулятором) елементами: датчик тиску - електронний блок керування - модулятор. Через це золотник із запізненням реагує на сигнал датчика про необхідність перекривати подачу стисненого повітря у виконавчий орган (гальмівну камеру), це приводить до значного перерегулювання по величині тиску, що відслідковує. На випуск надлишку тиску повітря з виконавчого органа (гальмівної камери) (де час, таким чином, загальний час установлення необхідного тиску у виконавчому органі (гальмівній камері) збільшується, що негативно позначається на якості процесу гальмування транспортного засобу.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення пропорційного модулятора для електронно-пневматичної гальмівної системи транспортного засобу за рахунок забезпечення механічного зворотного зв'язку по тиску, тобто положення запірно-регулюючого елемента визначає тиск у виконавчому органі (гальмівній камері), що виключає необхідність застосування датчика тиску після модулятора.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомому модуляторі електронно-пневматичної гальмівної системи, що містить корпус, у порожнині якого встановлений золотник, що має на зовнішній бічній поверхні зубчасту рейку, пов'язану із шестірню вала крокового електродвигуна, у корпусі модулятора виконані канали, один із яких з'єднує порожнину в модуляторі з ви-

конавчим органом (гальмівною камерою), а другий канал - ресивер стисненого повітря із впускним клапаном, відповідно до корисної моделі в корпусі модулятора розташований, притиснутий пружиною правим торцем відносно кришки корпусу, а лівим - відносно упору в корпусі, пневмопоршень, усередині (у порожнині) якого встановлений впускний клапан, підгорнутий пружиною до сідла в пневмопоршні, виконаний разом із сідлом впускного клапана, що вільно контактує із правим торцем золотника, підгорнутому лівим торцем до корпусу пружиною, установленою між правим торцем золотника й пневмопоршнем, виконавчий орган (гальмівна камера), з'єднаний з атмосферою, через канал у корпусі, відкритий впускний пневмоклапан, осьовий отвір у впускному пневмоклапані, поршні й кришці модулятора.

Сутність корисної моделі пояснюється кресленням (Фіг.), на якому показаний загальний вид модулятора, що заявляє, схематичний позової розріз.

Модулятор пропорційний містить корпус 1, вхідний канал 2, з'єднаний з ресивером стисненого повітря, і вихідний канал 3 з'єднаний з виконавчим органом (гальмівною камерою), впускний і впускний пневмоклапани 4 і 5. Пневмоклапани 4 і 5 виконані у вигляді плоских клапанів з нульовою активною площею. Впускний пневмоклапан 4, підгорнутий пружиною 8, жорстко пов'язаний із золотником на бічній поверхні якого є зубчаста рейка 9, через шестірню 10 пов'язаний з валом крокового двигуна 11. Сідло клапана 6 зроблено разом із клапаном 12, підгорнутого пружиною 13, що має осьовий отвір 14, пов'язане з атмосферою. Сідло впускного пневмоклапана 5 зроблено в пневмопоршні 15, підгорнутого пружиною 16. У правій частині модулятора розташована кришка 17, у якій встановлено випускне вікно 18.

У вихідному стані (при знеструмленому кроковому двигуні) за рахунок пружини 8 пневмоклапан 4 відкритий, зв'язуючи виконавчий орган (гальмівну камеру) з атмосферою через вихідний канал 3 і осьовий отвір 14 у клапані 12. При цьому за рахунок пружини 13 пневмоклапан 5 - закритий.

Принцип дії модулятора при гальмуванні транспортного засобу полягає в наступному. Пропорційний модулятор електронно-пневматичної гальмівної системи спочатку при гальмуванні виконує функції електропневматичного гальмівного привода.

При натисканні на педаль гальма від підпедального електричного модуля електричний сигнал надходить на електронний блок, що визначає та передає необхідне число імпульсів на кроковий двигун. У результаті відбувається переміщення золотника 9 вправо, це приводить до посадки пневмоклапана 4 на сідло 6, при цьому відбувається від'єднання виконавчого органа (гальмівної камери) від атмосфери. Подальше переміщення золотника 9 приводить до відкриття пневмоклапана 5 і перепуску стисненого повітря від ресивера через вхідний канал 2, пневмоклапан 5, вихідний канал 3 у виконавчий орган (гальмівну камеру). Таким чином, у початковий момент часу золотник 9 і поршень 12 переміщуються спільно, при цьому за

рахунок пружини 16 пневмопоршень залишається нерухомим. Зростаючий тиск у порожнині 19, рівній з тиском у виконавчому органі (гальмівній камері), приводить до руху пневмопоршня 15, стискаючи пружину 16.

Кут повороту ротора крокового двигуна визначається кількістю поданих на нього керуючих імпульсів. Таким чином, при натисканні на педаль на певну величину підведальний електричний модуль передає певну величину електричного сигналу електронному блоку керування, що розраховує кількість імпульсів, і подає на кроковий двигун, щоб установити тиск повітря у виконавчому органі (гальмівній камері) пропорційно натисканню на педаль гальма. Відтворивши необхідні імпульси, подані від електронного блоку керування, кроковий двигун зупиняється, при цьому золотник 9 і поршень 12 так само зупиняються, а пневмопоршень 15 продовжує рух, під дією тиску стисненого повітря, доти, поки сідло пневмоклапана 5, виконане в пневмопоршені 15, сиде на пневмоклапані 5, виконаній на поршні 12, тим самим, перекриваючи підданий канал 2, зв'язаний з ресивером стисненого повітря. Так переміщення запірно-регулюючого пристрою (пневмоклапана 4 і пневмоклапана 5) приводить до встановлення тиску повітря у виконавчому органі (гальмівній камері) пропорційно натисканню на педаль гальма, тим самим забезпечуючи підвищення якості регулювання процесу гальмування транспортних засобів, обладнаних електропневматичним приводом гальм.

Робота модулятора в режимі виконання функції антиблокувальної системи гальм транспортного засобу полягає в наступному.

При сталому тиску повітря у виконавчому органі (гальмівній камері) пропорційно натисканню на педаль гальма, пневмоклапани 4 і 5 закриті, а пневмопоршень 15 зміщений вправо, від початкового положення, на певну відстань. У випадку виникнення ймовірності блокування колеса транспортного засобу, блок керування по датчику кутової швидкості колеса визначає кількість імпульсів, який необхідно подати на кроковий двигун, щоб скинути певну порцію повітря з виконавчого органа (гальмівній камері) тим самим, запобігти блокуванню колеса. Подача імпульсів на кроковий двигун приводить до переміщення золотника 9 уліво, що приводить до відкриття пневмоклапана 4, зв'язаного через осьовий отвір 14 з атмосферою. Таким чином, відбувається скидання стисненого повітря з гальмової камери. Відтворивши певну кількість імпульсів (задане електронним блоком керування) кроковий двигун зупиняється. При цьому зниження тиску у виконавчому органі (гальмівній камері) приводить до зниження тиску в порожнині 19, що у свою чергу приводить до зниження сили діючої на пневмопоршень 15, а як наслідок, його переміщенням у слід за золотником 9 за рахунок пружини 16, до того моменту поки пневмоклапан 4 відкриється й сили діючої на пневмопоршень 15 від тиску повітря і пружини 16 зрівноважаться, тобто тиск на виході модулятора й

у виконавчому органі стають однаковими.

Таким чином, забезпечується кочення колеса без блокування при гальмуванні, що підвищує керованість і стійкість у цілому транспортного засобу.

Модулятор, що заявляється, має дію, що стежить, і безпосередньо з'єднаний з ресивером стисненого повітря та має незалежний відвід його в атмосферу через випускне вікно 18, електропневматична гальмівна система обладнана такими модуляторами має можливість виконувати різні функції і їй сполучення: електропневматичного гальмівного привода; регулювання гальмових сил по осях; антиблокувальної гальмівної системи; курсової й динамічної стійкості; протибуксовочної системи. При цьому регулювання здійснюване кожної з її підсистем електронного блоку, дозволяє забезпечувати вибір бажаних прохідних перетинів випускних і випускних клапанів і часом їхнього знаходження в даному стані.

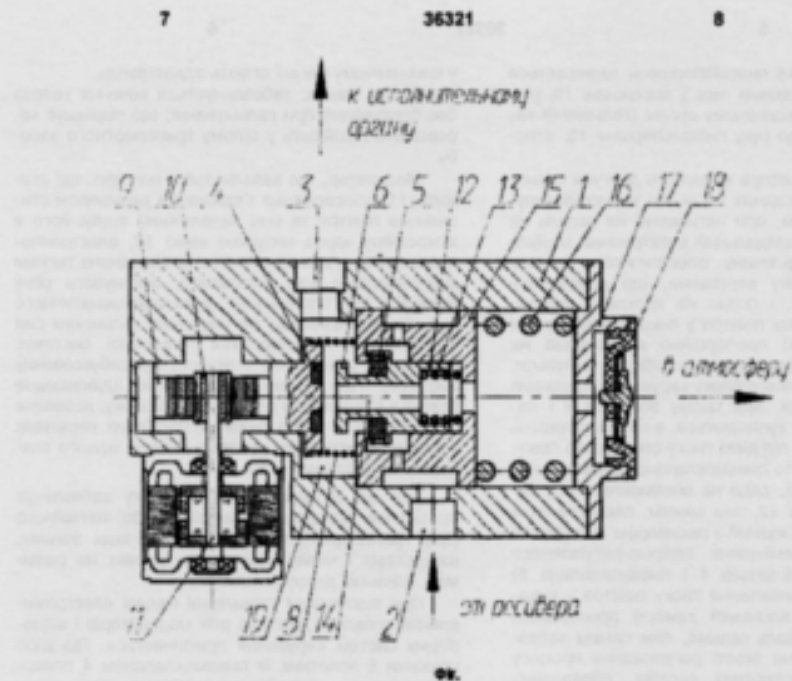
Все це в остаточному підсумку забезпечує протікання процесу гальмування або звичайного руху транспортного засобу в будь-яких зчепних, швидкісних і навантажувальних умовах на режимах, близьких до оптимального.

При відпусканні гальмівної педалі електроживлення крокових двигунів всіх модуляторів і відповідних систем керування припиняється. Під дією пружини 8 золотник із пневмоклапаном 4 повертаються вліво у вихідне положення, при цьому відбувається відкриття отвору 14, через яке стиснене повітря з виконавчого органа (гальмівній камері) виходить через випускне вікно 18 в атмосферу.

У випадку виходу з ладу, якого або контуру електропневматичної гальмівної системи, то загальмовування транспортного засобу здійснюється контуром, що залишається, а при виході з ладу всієї електричної частини загальмовування здійснюється запасною гальмівною системою.

Описані відмітні якості модулятора перебувають у причинно-наслідковому зв'язку з отриманим новим технічним результатом - можливістю виконання модулятором відповідних функцій у складі електропневматичного гальмівного привода, регулятора гальмівних сил, антиблокувальної системи, системи забезпечення курсової й динамічної стійкості - при русі автотранспортного засобу на гальмівному режимі й у складі протибуксовочної системи й системи забезпечення курсової й динамічної стійкості - при русі автотранспортного засобу на тяговому режимі.

Модулятор, що заявляється, відрізняється відносною простотою конструкції й може забезпечити ефективність роботи електропневматичної гальмівної системи, близьку до оптимальної. Інші рішення, які б мали такі якості, авторам не відомі з патентної й технічної літератури, тому пропонується Корисна модель відповідас критерію «новизна». Рішення є актуальним в області автомобілебудування, технічно завершеним і промислово придатним.



Комп'ютерна верстка Л. Купенко

Підписне

Тираж 28 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 385 242** (13) **C2**

(51) МПК

B60T 8/38 (2006.01)

B60T 8/46 (2006.01)

(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 2008116957/11, 28.04.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.04.2008

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2009

(45) Опубликовано: 27.03.2010 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2314217 C2, 10.01.2008. EP 0154214 A2,
11.09.1985. SU 1320102 A1, 30.06.1987.
EP 0145858 A2, 26.06.1985. GB 2002471 A,
21.02.1979.

Адрес для переписки:

61002, Украина, г. Харьков, ул.
Петровского, 25, ХНАДУ, сектор по
вопросам интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Туренко Анатолий Николаевич (UA),
Ломака Степан Иосифович (UA),
Клименко Валерий Иванович (UA),
Рыжих Леонид Александрович (UA),
Тишковец Сергей Викторович (UA),
Леонтьев Дмитрий Николаевич (UA),
Чебан Андрей Анатольевич (UA),
Красюк Александр Николаевич (UA)

(73) Патентообладатель(и):

Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет (UA),
Туренко Анатолий Николаевич (UA),
Ломака Степан Иосифович (UA),
Клименко Валерий Иванович (UA),
Рыжих Леонид Александрович (UA),
Тишковец Сергей Викторович (UA),
Леонтьев Дмитрий Николаевич (UA),
Чебан Андрей Анатольевич (UA),
Красюк Александр Николаевич (UA)

(54) **ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ МОДУЛЯТОР ЭЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ**(57) **Формула изобретения**

Модулятор электронно-пневматической тормозной системы, содержащий корпус, в полости которого установлен золотник, имеющий на наружной боковой поверхности зубчатую рейку, связанную с шестерней вала шагового электродвигателя, в корпусе модулятора выполнены каналы, один из которых соединяет полость в модуляторе с исполнительным органом (тормозной камерой), а второй канал - ресивер сжатого воздуха с впускным клапаном, отличающийся тем, что в корпусе модулятора расположен подпружиненный правым торцом относительно крышки корпуса, а левым - относительно упора в корпусе пневмопоршень, внутри (в полости) которого установлен впускной клапан, поджатый пружиной к седлу в пневмопоршне, выполненный совместно с седлом выпускного клапана, свободно контактирующим с правым торцом золотника, поджатого левым торцом к корпусу пружиной, установленной между правым торцом золотника и пневмопоршнем, исполнительный орган (тормозная камера) соединен с атмосферой через канал в корпусе, открытый выпускной пневмоклапан, осевое отверстие во впускном пневмоклапане, поршне и крышке модулятора.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 385 242** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) МПК
B60T 8/38 (2006.01)
B60T 8/46 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008116957/11, 28.04.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.04.2008

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2009

(45) Опубликовано: 27.03.2010 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2314217 C2, 10.01.2008. EP 0154214 A2,
11.09.1985. SU 1320102 A1, 30.06.1987.
EP 0145858 A2, 26.06.1985. GB 2002471 A,
21.02.1979.

Адрес для переписки:

61002, Украина, г. Харьков, ул.
Петровского, 25, ХНАДУ, сектор по
вопросам интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Туренко Анатолий Николаевич (UA),
Ломака Степан Иосифович (UA),
Клименко Валерий Иванович (UA),
Рыжих Леонид Александрович (UA),
Тишковец Сергей Викторович (UA),
Леонтьев Дмитрий Николаевич (UA),
Чебан Андрей Анатольевич (UA),
Красюк Александр Николаевич (UA)

(73) Патентообладатель(и):

Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет (UA),
Туренко Анатолий Николаевич (UA),
Ломака Степан Иосифович (UA),
Клименко Валерий Иванович (UA),
Рыжих Леонид Александрович (UA),
Тишковец Сергей Викторович (UA),
Леонтьев Дмитрий Николаевич (UA),
Чебан Андрей Анатольевич (UA),
Красюк Александр Николаевич (UA)

**(54) ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ МОДУЛЯТОР ЭЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к транспортному
машиностроению, в частности к
пневматическим тормозным системам
транспортных средств. Модулятор содержит
корпус, в полости которого установлен
золотник, имеющий на наружной боковой
поверхности зубчатую рейку, связанную с
шестерней вала шагового электродвигателя. В
корпусе модулятора выполнены каналы, один
из которых соединяет полость в модуляторе с
исполнительным органом (тормозной камерой),
а второй канал - ресивер сжатого воздуха с
впускным клапаном. В корпусе модулятора
расположен подпружиненный правым торцом
относительно крышки корпуса, а левым
относительно упора в корпусе пневмопоршень,
внутри в полости которого установлен
впускной клапан. Впускной клапан поджат

пружиной к седлу в пневмопоршне и выполнен
совместно с седлом выпускного клапана,
свободно контактирующим с правым торцом
золотника, поджатого левым торцом к корпусу
пружиной. Пружина установлена между
правым торцом золотника и пневмопоршнем.
Исполнительный орган (тормозная камера)
соединен с атмосферой через канал в корпусе,
открытый выпускной пневмоклапан, осевое
отверстие во впускном пневмоклапане, поршне
и крышке модулятора. Достигается
усовершенствование пропорционального
модулятора для электронно-пневматической
тормозной системы транспортного средства за
счет обеспечения механической обратной связи
по давлению, т.е. положение
запорно-регулирующего элемента определяет
давление в исполнительном органе (тормозной
камере), что исключает необходимость

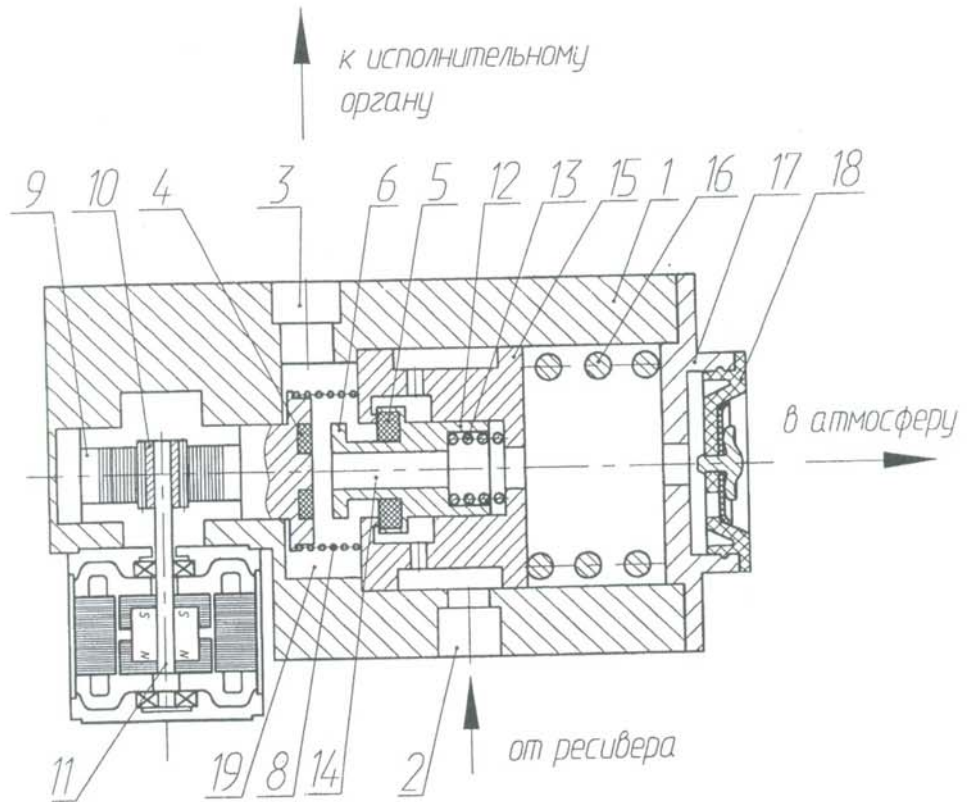
применения

датчика

датчика

исполнителя

исполнителя



RU 2 3 8 5 2 4 2 C 2

RU 2 385 242 C2

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к тормозным системам транспортных средств.

Электронно-пневматическая тормозная система, как правило, имеет электропневматический тормозной привод и может включать в себя регулятор тормозных сил, антиблокировочную и противобуксовочную системы, систему обеспечения курсовой и динамической устойчивости транспортного средства, которые функционируют при необходимости в определенной последовательности при движении как на тормозном, так и тяговом режимах. При применении электронно-пневматической тормозной системы в качестве рабочей тормозной системы предусматривается ее многоконтурность (для двухосного транспортного средства как минимум два контура, один для передней оси, второй для задней оси). Эти контуры работают независимо друг от друга, и при выходе из строя одного из контуров транспортное средство затормаживается с предписанной нормативной эффективностью для данного случая, т.е. обеспечивается функция резервной (запасной) тормозной системы.

Известен пневматический соленоидный клапан, содержащий первый впускной канал, соединенный с первым источником давления, второй впускной канал, соединенный со вторым источником давления, выпускной канал, соединенный с камерой, поддерживаемой под регулируемым давлением, полый корпус, в который выходит каждая из частей таким образом, что в нем можно обеспечить ее избирательное сообщение, по меньшей мере, с одной другой частью, и электромагнит, прикрепленный к корпусу и включающий сердечник, приводящий в действие средства установления избирательного сообщения, неподвижный клапан и подвижный клапан, заключенные в полый корпус с обеспечением возможности открывания неподвижного клапана, когда подвижный клапан закрыт, и наоборот, а эти клапаны образованы валом, трубчатым подвижным стопорным элементом и уплотняющей поверхностью, находящимися под воздействием электромагнита (RU 2102265 C1, Пневматический соленоидный клапан, В60Т 8/36. Заявка 95120162/11 от 19.01.1994 года. Публикация 20.01.1998. Опубликовано 20.10.1988 г.).

Техническое решение, использованное в пропорциональном пневматическом соленоидном клапане, обеспечивает возможность следящего действия, т.е. регулирования давления в тормозной камере в зависимости от электрического сигнала электронного блока, что позволяет повысить быстродействие.

Наиболее близким к заявляемому по количеству общих конструктивных признаков является модулятор электронной тормозной системы, содержащий корпус, в полости которого помещен золотник, зубчатую рейку, шестерню вала шагового электродвигателя и отверстия. Золотник имеет сквозное осевое отверстие и на наружной боковой поверхности по центру зубчатую рейку. Зубчатая рейка связана с шестерней вала шагового электродвигателя. Вал электродвигателя поджат в исходное положение пружиной. Два отверстия в корпусе сообщены с атмосферой, а одно перекрыто золотником, при этом отверстие, перекрытое в исходном положении золотником, непосредственно соединено с ресивером сжатого воздуха (RU 2314217 C2, Модулятор электронной тормозной системы, В60Т 8/36. Заявка 2005111679/11 от 19.04.2005 года. Публикация 27.10.2006. Опубликовано 10.01.2008 2005 г.).

Основным недостатком данного модулятора является то, что при работе в составе электронно-пневматической тормозной системы для обеспечения следящего действия при нажатии на подпедальный электрический модуль пропорциональность давления в исполнительном органе (тормозной камере) достигается за счет установки датчика

давления после модулятора. На практике это приводит к тому, что появляется существенное запаздывание в системе исполнительный элемент (модулятор) - датчик. При таком решении обратная связь по давлению реализуется внешними (вне модулятора) элементами: датчик давления - электронный блок управления -
 5 модулятор. Из-за этого золотник с опозданием реагирует на сигнал датчика о необходимости перекрывать подачу сжатого воздуха в исполнительный орган (тормозную камеру), это приводит к значительному перерегулированию по величине отслеживаемого давления. На выпуск излишка давления воздуха из исполнительного
 10 органа (тормозной камеры) уходит время, таким образом, общее время установления требуемого давления в исполнительном органе (тормозной камере) увеличивается, что негативно сказывается на качестве процесса торможения транспортного средства.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования пропорционального модулятора для электронно-пневматической тормозной системы транспортного
 15 средства за счет обеспечения механической обратной связи по давлению, т.е. положение запорно-регулирующего элемента определяет давление в исполнительном органе (тормозной камере), что исключает необходимость применения датчика давления после модулятора.

20 Поставленная задача решается за счет того, что в известном модуляторе электронно-пневматической тормозной системы, содержащем корпус, в полости которого установлен золотник, имеющий на наружной боковой поверхности зубчатую рейку, связанную с шестерней вала шагового электродвигателя, в корпусе модулятора выполнены каналы, один из которых соединяет полость в модуляторе с
 25 исполнительным органом (тормозной камерой), а второй канал - ресивер сжатого воздуха с впускным клапаном, согласно изобретению в корпусе модулятора расположен подпружиненный правым торцом относительно крышки корпуса, а левым относительно упора в корпусе пневмопоршень, внутри (в полости) которого
 30 установлен впускной клапан, поджатый пружиной к седлу в пневмопоршне, выполненный совместно с седлом выпускного клапана, свободно контактирующим с правым торцом золотника, поджатого левым торцом к корпусу пружиной, установленной между правым торцом золотника и пневмопоршнем, исполнительный орган (тормозная камера) соединен с атмосферой через канал в корпусе, открытый
 35 выпускной пневмоклапан, осевое отверстие во впускном пневмоклапане, поршне и крышке модулятора.

Сущность изобретения поясняется чертежом на котором показан общий вид заявляемого модулятора, схематический продольный разрез.

40 Модулятор пропорциональный содержит корпус 1, входной канал 2, соединенный с ресивером сжатого воздуха, и выходной канал 3, соединенный с исполнительным органом (тормозной камерой), выпускной и впускной пневмоклапаны 4 и 5. Пневмоклапаны 4 и 5 выполнены в виде плоских клапанов с нулевой активной площадью. Выпускной пневмоклапан 4, поджатый пружиной 8, жестко связан с
 45 золотником, на боковой поверхности которого имеется зубчатая рейка 9, через шестерню 10 связан с валом шагового двигателя 11. Седло клапана 6 сделано совместно с клапаном 12, поджатый пружиной 13, имеющим осевое отверстие 14, связанное с атмосферой. Седло впускного пневмоклапана 5 сделано в
 50 пневмопоршне 15, поджатом пружиной 16. В правой части модулятора расположена крышка 17, в которой установлено выпускное окно 18.

В исходном состоянии (при обесточенном шаговом двигателе) за счет пружины 8 пневмоклапан 4 открыт, связывая исполнительный орган с атмосферой через

выходной канал 3 и осевое отверстие 14 в клапане 12. При этом за счет пружины 13 пневмоклапан 5 закрыт.

Принцип действия модулятора при торможении транспортного средства состоит в следующем. Пропорциональный модулятор электронно-пневматической тормозной системы первоначально при торможении выполняет функции электропневматического тормозного привода.

При нажатии на педаль тормоза от подпедального электрического модуля электрический сигнал поступает на электронный блок, который определяет и передает необходимое число импульсов на шаговый двигатель. В результате происходит перемещение золотника 9 вправо, это приводит к посадке пневмоклапана 4 на седло 6, при этом происходит отсоединение исполнительного органа (тормозной камеры) от атмосферы. Дальнейшее перемещение золотника 9 приводит к открытию пневмоклапана 5 и перепуску сжатого воздуха от ресивера через входной канал 2, пневмоклапан 5, выходной канал 3 в исполнительный орган (тормозную камеру). Таким образом, в начальный момент времени золотник 9 и поршень 12 перемещаются совместно, при этом за счет пружины 16 пневмопоршень остается неподвижным. Возрастающее давление в полости 19, равное давлению в исполнительном органе (тормозной камере), приводит к движению пневмопоршня 15, сжимая пружину 16.

Угол поворота ротора шагового двигателя определяется количеством поданных на него управляющих импульсов. Таким образом, при нажатии на педаль на определенную величину подпедальный электрический модуль передает определенную величину электрического сигнала электронному блоку управления, который рассчитывает количество импульсов, и подает на шаговый двигатель, чтобы установить давление воздуха в исполнительном органе (тормозной камере) пропорционально нажатию на педаль тормоза. Отработав необходимые импульсы, поданные от электронного блока управления, шаговый двигатель останавливается, при этом золотник 9 и поршень 12 также останавливаются, а пневмопоршень 15 продолжает движение, под действием давления сжатого воздуха, до тех пор, пока седло пневмоклапана 5, выполненное в пневмопоршне 15, сядет на пневмоклапан 5, выполненный на поршне 12, тем самым перекрывая входной канал 2, связанный с ресивером сжатого воздуха. Так перемещение запорно-регулирующего устройства (пневмоклапана 4 и пневмоклапана 5) приводит к установлению давления воздуха в исполнительном органе (тормозной камере) пропорционально нажатию на педаль тормоза, тем самым обеспечивая повышение качества регулирования процесса торможения транспортных средств, оборудованных электронно-пневматическим приводом тормозов.

Работа модулятора в режиме выполнения функций антиблокировочной системы тормозов транспортного средства состоит в следующем.

При установившемся давлении воздуха в исполнительном органе (тормозной камере) пропорционально нажатию на педаль тормоза пневмоклапаны 4 и 5 закрыты, а пневмопоршень 15 смещен вправо, от начального положения, на определенное расстояние. В случае возникновения вероятности блокирования колеса транспортного средства блок управления по датчику угловой скорости колеса определяет количество импульсов, которое необходимо подать на шаговый двигатель, чтобы сбросить определенную порцию воздуха из исполнительного органа (тормозной камеры), тем самым предотвратив блокирование колеса. Подача импульсов на шаговый двигатель приводит к перемещению золотника 9 влево, что приводит к открытию пневмоклапана 4, связанного через осевое отверстие 14 с атмосферой. Таким образом,

происходит сброс сжатого воздуха из тормозной камеры. Отработав определенное количество импульсов (заданное электронным блоком управления), шаговый двигатель останавливается. При этом снижение давления в исполнительном органе (тормозной камере) приводит к снижению давления в полости 19, что в свою очередь приводит к снижению силы, действующей на пневмопоршень 15, и, как следствие, его перемещение вслед за золотником 9 за счет пружины 16, до того момента, пока пневмоклапан 4 закроется и силы действующие на пневмопоршень 15 от давления воздуха и пружины 16, уравниваются, то есть давление на выходе модулятора и в исполнительном органе становятся одинаковыми.

Таким образом, обеспечивается качение колеса без блокирования при торможении, что повышает управляемость и устойчивость в целом транспортного средства.

Так как заявляемый модулятор имеет следящее действие и непосредственно соединен с ресивером сжатого воздуха и имеет независимый отвод его в атмосферу через выпускное окно 18, электронно-пневматическая тормозная система, оборудованная такими модуляторами, имеет возможность выполнять различные функции и их сочетания: электропневматического тормозного привода; регулирование тормозных сил по осям; антиблокировочной тормозной системы; курсовой и динамической устойчивости; противобуксовочной системы. При этом регулирование, осуществляемое каждой из подсистем электронного блока, позволяет обеспечивать выбор желаемых проходных сечений впускных и выпускных клапанов и времен их нахождения в данном состоянии.

Все это в конечном итоге обеспечивает протекание процесса торможения или обычного движения транспортного средства в любых сцепных, скоростных и нагрузочных условиях на режимах, близких к оптимальным.

При отпускании тормозной педали электропитание шаговых двигателей всех модуляторов и соответствующих систем управления прекращается. Под действием пружины 8 золотник с пневмоклапаном 4 возвращаются влево в исходное положение, при этом происходит открытие отверстия 14, через которое сжатый воздух из исполнительного органа (тормозной камеры) выходит через выпускное окно 18 в атмосферу.

В случае выхода из строя какого либо контура электронно-пневматической тормозной системы, затормаживание транспортного средства осуществляется оставшимся контуром, а при выходе из строя всей электрической части затормаживание осуществляется запасной тормозной системой.

Описанные отличительные качества модулятора находятся в причинно-следственной связи с полученным новым техническим результатом - возможностью выполнения модулятором соответствующих функций в составе электропневматического тормозного привода, регулятора тормозных сил, антиблокировочной системы, системы обеспечения курсовой и динамической устойчивости - при движении автотранспортного средства на тормозном режиме и в составе противобуксовочной системы и системы обеспечения курсовой и динамической устойчивости - при движении автотранспортного средства на тяговом режиме.

Заявляемый модулятор отличается относительной простотой конструкции и может обеспечить эффективность работы электронно-пневматической тормозной системы, близкую к оптимальной. Другие решения, которые бы имели такие качества, авторам не известны из патентной и технической литературы, поэтому предлагаемое изобретение соответствует критерию «новизна». Решение является актуальным в

RU 2 385 242 C2

области автомобилестроения, технически завершенным и промышленно пригодным.

Формула изобретения

5 Модулятор электронно-пневматической тормозной системы, содержащий корпус, в полости которого установлен золотник, имеющий на наружной боковой поверхности зубчатую рейку, связанную с шестерней вала шагового электродвигателя, в корпусе модулятора выполнены каналы, один из которых соединяет полость в модуляторе с исполнительным органом (тормозной камерой), а второй канал - ресивер сжатого
10 воздуха с впускным клапаном, отличающийся тем, что в корпусе модулятора расположен подпружиненный правым торцом относительно крышки корпуса, а левым - относительно упора в корпусе пневмопоршень, внутри (в полости) которого установлен впускной клапан, поджатый пружиной к седлу в пневмопоршне, выполненный совместно с седлом выпускного клапана, свободно контактирующим с
15 правым торцом золотника, поджатого левым торцом к корпусу пружиной, установленной между правым торцом золотника и пневмопоршнем, исполнительный орган (тормозная камера) соединен с атмосферой через канал в корпусе, открытый выпускной пневмоклапан, осевое отверстие во впускном пневмоклапане, поршне и
20 крышке модулятора.

25

30

35

40

45

50

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА ВІНАХІД

№ 91121

ЕЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧНА ГАЛЬМІВНА СИСТЕМА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
25.06.2010.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій





УКРАЇНА

(19) UA (11) 91121 (13) C2
 (51) МПК (2009)
 B60T 13/24
 B60T 13/68
 B60T 8/60

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
 І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЕЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧНА ГАЛЬМІВНА СИСТЕМА

1

(21) а200811089
 (22) 12.09.2008
 (24) 25.06.2010
 (46) 25.06.2010, Бюл. № 12, 2010 р.
 (72) ТУРЕНКО АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, КЛИМЕНКО ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, ЛОМАКА СТЕПАН ІОСИПОВИЧ, РИЖИХ ЛЕОНІД ОЛЕКСАНДРОВИЧ, МИХАЛЕВИЧ МИКОЛА ГРИГОРОВИЧ, ЛЕОНТЬЄВ ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ, ЧЕБАН АНДРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, КРАСЮК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ
 (73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 (56) UA 64333 A, B60T8/00, 16.02.2004
 SU 1162644 A, B60T8/00, 23.06.1985
 CA 2135063 A1, B60T8/00, 23.12.1993
 EP 0447750 A1, B60T8/34, 25.09.1991
 GB 1313879 A, B60T8/42, 18.04.1973
 GB 1456821 A, B60T13/66, 24.11.1976
 RU 2185978 C1, B60T8/36, 27.07.2002
 US 6354671 B1, B60T13/68, 12.03.2002

2

(57) Електронно-пневматична гальмівна система, що включає датчик положення педалі і датчики кутової швидкості коліс, електрично зв'язані з електронним блоком керування, який в свою чергу електрично зв'язаний з модуляторами, що мають підведення стисненого повітря від ресивера і з'єднані трубопроводами з гальмівними камерами, яка відрізняється тим, що в кожному модуляторі встановлений кроковий двигун з можливістю переміщення випускного пневмоклапана, який може контактувати з відповідним підпружиненим сідлом, з'єднаним зі впускним пневмоклапаном, розташованим у підпружиненому поршні, який забезпечує дозоване надходження стислого повітря до гальмівної камери в залежності від положення випускного пневмоклапана, а між кожним модулятором і гальмівною камерою встановлений двомагістральний захисний клапан з можливістю від'єднання модулятора від гальмівної камери і приєднання гальмівної камери безпосередньо до гальмівного крана у випадку відмови електричної частини гальмівної системи.

Винахід відноситься до області машинобудування, а саме до гальмівних систем транспортних засобів.

Електронно-пневматична гальмівна система, як правило, має електронно-пневматичний гальмівний привод і може виконувати функції систем: регулювання гальмівних сил, антиблокувальної й протибуксувальної систем, систем забезпечення курсової й динамічної стійкості транспортного засобу, які функціонують при необхідності в певній послідовності при русі, як на гальмівному, так і тяговому режимах. При застосуванні електронно-пневматичної гальмівної системи в якості робочої гальмівної системи передбачається її багатоконтурність (для двохосового транспортного засобу - як мінімум два контури, один для передньої осі, другий для задньої осі). Ці контури працюють незалежно один від одного й при виході з ладу одного з контурів, транспортний засіб загальмовується

із запропонованою нормативною ефективністю для даного випадку, тобто забезпечується функція резервної (запасної) гальмівної системи.

Відомі два варіанти виконання електронно-пневматичної гальмівної системи, [Клюшкин Г.П., Галакшин В.А., Перфильев В.С., Кравцов И.В. Электронная тормозная система Кнорр - Бремзе - шаг к новому уровню активной безопасности грузового автотранспорта "Грузовик", 2002, №9, С.43-45].

Перший варіант електронно-пневматичної гальмівної системи виконаний по чотирьохканальній схемі й забезпечує індивідуальне регулювання тиску у виконавчих органах (гальмівних камерах) кожного колеса, що дозволяє виконання всіх, вище перерахованих, функцій. Електронно-пневматична гальмівна система, що містить ресивери стисненого повітря, трубопроводами зв'язані з модуляторами, виконані на базі трьох релейних електро-

(13) C2

(11) 91121

(19) UA

пневматичних клапанів й інтегрованого прискорювального клапана, і гальмівним краном. У гальмівному крані встановлений датчик положення педалі, пов'язаний електрично з електронним блоком керування, що має електричний зв'язок з модулятором. Модулятор трубопроводом пов'язаний з гальмівною камерою.

Другий варіант електронно-пневматичної гальмівної системи виконаний по трьохканальній схемі й забезпечує індивідуальне регулювання тиску у виконавчих органах (гальмівних камерах) по осях, що обмежує кількість виконуваних функцій, однак забезпечується виконання функцій запропонованих законодавчо. Електронно-пневматична гальмівна система, що містить ресивери стисненого повітря трубопроводами пов'язані з осьовими модуляторами, виконані на базі трьох релейних електропневматичних клапанів й інтегрованого прискорювального клапана, і гальмівним краном. У гальмівному крані встановлений датчик положення педалі, пов'язаний електрично з електронним блоком керування, що має електричний зв'язок з осьовими модуляторами й колісними модуляторами антиблокувальної гальмівної системи. Осьові модулятори трубопроводами пов'язані з колісними модуляторами антиблокувальної гальмівної системи, які мають пневматичний зв'язок з виконавчими органами (гальмівними камерами).

Основним недоліком даних електронно-пневматичних гальмівних систем є те, що використано модулятори релейного типу. Саме з особливостями конструкції й роботи цих модуляторів зв'язані недоліки в регулюванні процесу гальмування й надійності роботи гальмівної системи. А саме: загальний час, необхідний для встановлення тиску у виконавчому органі (гальмівній камері), невиправдано великий. Це пов'язане з тим, що при роботі, для забезпечення дії, що стежить, при натисканні на підпедальний електричний модуль (гальмівний кран з датчиком положення педалі), пропорційність тиску у виконавчому органі (гальмівній камері) досягається за рахунок установки датчика тиску після модулятора. На практиці це приводить до того, що з'являється істотне запізнювання в системі виконавчий елемент (модулятор) - датчик. При такому рішенні зворотний зв'язок по тиску реалізується зовнішніми (поза модулятором) елементами: датчик тиску - електронний блок керування - модулятор. Через це модулятор із запізненням реагує на сигнал датчика про необхідність перекривати подачу стисненого повітря у виконавчий орган (гальмівну камеру), це приводить до значного перерегулювання по величині тиску, що відслідковує. На випуск перевищуючого тиску повітря з виконавчого органа (гальмівної камери) необхідний час, таким чином, загальний час встановлення необхідного тиску у виконавчому органі (гальмівній камері) збільшується, що негативно позначається на якості процесу гальмування транспортного засобу.

Другий недолік таких систем проявляється при роботі резервної (запасної) гальмівної системи, а саме: недостатня надійність цієї системи, тому що вона працездатна тільки при справному модуляторі. Таким чином, від надійності роботи модуля-

тора залежить працездатність всієї гальмівної системи транспортного засобу.

Зазначені недоліки є наслідком конструктивного рішення використання релейного модулятора й схеми його підключення в гальмівній системі.

В основу винаходу поставлене завдання вдосконалення електронно-пневматичної гальмівної системи транспортного засобу шляхом підвищення якості регулювання процесу гальмування, а також забезпечення надійної роботи гальмівної системи шляхом підвищення надійності резервної (запасної) гальмівної системи, навіть при непрацюючому модуляторі за рахунок зміни схеми підключення модулятора в гальмівній системі.

Поставлене завдання вирішується за рахунок того, що у відомій електронно-пневматичній гальмівній системі, що включає датчик положення педалі, електрично зв'язаний з електронним блоком керування, вихід якого електрично зв'язаний із входом модулятора, що має підведення стисненого повітря від ресивера й з'єднаного з гальмівною камерою трубопроводом, датчики кутової швидкості коліс, підключені до електронного блоку керування, відповідно до винаходу модулятори виконані з механічним зворотним зв'язком по тиску, а між модуляторами й гальмівними камерами встановлені двомагістральні захисні клапани, з'єднані трубопроводами з гальмівним краном.

Сутність винаходу пояснюється кресленням (Фіг.1), на якому показана схема гальмівної системи, що заявляється електронно-пневматичної.

Електронно-пневматична гальмівна система містить ресивери стисненого повітря 1, гальмівний кран 2 з підпедальним електричним модулем (датчиком положення педалі) 3, передні гальмівні камери 4 і задні енергоакумулятори 5, чотири пропорційні модулятори 6, з'єднані з ресивером стисненого повітря, і чотири двомагістральні захисні клапани 7, розташованих між модуляторами 6 і виконавчими органами 4 й 5, а також має підведення стисненого повітря від гальмівного крана, датчики кутової швидкості коліс 8, електронний блок керування 9.

Принцип дії електронно-пневматичної гальмівної системи пояснюється кресленням (Фіг.2).

У вихідному стані (при знеструмленому кроковому двигуні в модуляторі) за рахунок пружини 11 пневмоклапан 12 відкритий, зв'язуючи виконавчий орган (гальмівну камеру) з атмосферою через двомагістральний захисний клапан 7, вихідний канал 13 й осьовий отвір 14 у пневмоклапані 17. При цьому за рахунок пружини 16 пневмоклапан 17 - закритий.

Процес гальмування транспортного засобу робочою гальмівною системою полягає в наступному. Пропорційні модулятори електронно-пневматичної гальмівної системи спочатку при гальмуванні виконують функції електропневматичного гальмівного привода, тобто забезпечують швидкодію при заповненні стисненим повітрям виконавчі органи (гальмівні камери).

При натисканні на педаль гальма від підпедального електричного модуля (датчика положення педалі) 3 електричний сигнал надходить на електронний блок 9, що визначає й передає необхідне

число імпульсів на крокові двигуни. У результаті відбувається переміщення золотника 18, у модуляторах, вправо, це приводить до посадки пневмоклапану 12 на сідло 19, при цьому відбувається від'єднання виконавчих органів (гальмівних камер) 4, 5 від атмосфери. Подальше переміщення золотника 18 приводить до відкриття пневмоклапана 17 і перепуску стисненого повітря від ресивера через вхідний канал 20, пневмоклапан 17, вихідний канал 13, двомагістральний захисний клапан 7 у виконавчі органи (гальмівні камери) 4, 5. Таким чином, у початковий момент часу золотник 18 і поршень 19 переміщуються спільно, при цьому за рахунок пружини 22 пневмопоршень 21 залишається нерухомим. Зростаючий тиск у порожнині 23, сягає тиску у виконавчих органах (гальмівних камерах) 4, 5 і призводить до руху пневмопоршень 21, стискаючи пружину 22. Тому що модулятори перебувають близько від виконавчих органів (гальмівних камер) 4, 5, то й двомагістральний захисний клапан 7 перепустить стиснене повітря від модуляторів 6 і перекриє подачу стисненого повітря від гальмівного крана 2.

Кут повороту ротора крокових двигунів визначається кількістю поданих на нього керуючих імпульсів. Таким чином, при натисканні на педаль на певну величину підпедальний електричний модуль (датчик положення педалі) 3 передає певну величину електричного сигналу електронному блоку керування 9, що розраховує кількість імпульсів, і подає на крокові двигуни, щоб установити тиск повітря у виконавчих органах (гальмівних камерах) 4, 5 пропорційно натисканню на педаль гальма. Відбивши необхідні імпульси, подані від електронного блоку керування 10, крокові двигуни зупиняються, при цьому золотник 18 і поршень 19 так само зупиняються, а пневмопоршень 21 продовжує рух, під дією тиску стисненого повітря, доти, поки сідло пневмоклапана 17, виконане в пневмопоршні 21, сяде на пневмоклапан 17, виконаний на поршні 19, тим самим, перекриваючи вхідний канал 20, пов'язаний з ресивером стисненого повітря 1. Так переміщення запірно-регулюючого пристрою (пневмоклапана 12 та пневмоклапана 17) приводить до встановлення тиску повітря у виконавчих органах (гальмівних камерах) 4, 5 пропорційно натисканню на педаль гальма, тим самим, забезпечуючи підвищення якості регулювання процесу гальмування транспортних засобів, обладнаних електронно-пневматичним приводом гальм.

Робота електронно-пневматичної гальмівної системи в режимі виконання функції антиблокувальної системи гальм транспортного засобу полягає в наступному.

При сталому тиску повітря у виконавчих органах (гальмівних камерах) пропорційно натисканню на педаль гальма, пневмоклапани 12 й 17 закриті, а пневмопоршень 21 зміщений вправо, від початкового положення, на певну відстань. У випадку виникнення ймовірності блокування коліс транспортного засобу, блок керування 10 по датчиках кутової швидкості коліс 8 визначає кількість імпульсів, який необхідно подати на крокові двигуни, щоб скинути певну порцію повітря з виконавчих органів

(гальмівних камер) 4, 5 тим самим, запобігти блокуванню коліс. Подача імпульсів на кроковий двигун приводить до переміщення золотника 18 вліво, що приводить до відкриття пневмоклапану 12, зв'язаного через осьовий отвір 14 з атмосферою. Таким чином, відбувається скидання стисненого повітря з гальмівної камери. Відбивши певну кількість імпульсів (задане електронним блоком керування 9) крокові двигуни зупиняються. При цьому зниження тиску у виконавчих органах (гальмівних камерах) 4, 5 приводить до зниження тиску в порожнині 23, що у свою чергу приводить до зниження сили діючої на пневмопоршень 21, а як наслідок, його переміщенням у слід за золотником 18 за рахунок пружини 16, до того моменту поки пневмоклапан 12 закриється й сили діючої на пневмопоршень 21 від тиску повітря й пружини 22 зрівноважаться, тобто тиск на виході модулятора й в виконавчому органі стають однаковими. У випадку якщо тиск у виконавчому органі (гальмівній камері) знизиться до рівня, що призведе до перепуску двомагістральним захисним клапаном стисненого повітря від гальмівного крана 2 у виконавчий орган (гальмівну камеру), підвищення тиску у виконавчому органі (гальмівній камері) приведе до переміщення пневмопоршня 21 вправо й відкриття пневмоклапана 12, що у свою чергу приведе до скидання стисненого повітря до колишнього рівня. Таким чином, забезпечується кочення колеса без блокування при гальмуванні, що підвищує керованість і стійкість у цілому транспортного засобу.

Електронно-пневматична гальмівна система, що заявляється, обладнана модуляторами 6 має дію, що стежить, і безпосередньо з'єднані з ресивером стисненого повітря, а також має незалежний відвід його в атмосферу через випускне вікно 24, електронно-пневматична гальмівна система, обладнана такими модуляторами, має можливість виконувати різні функції і їхні сполучення: електропневматичного гальмівного привода; регулювання гальмівних сил по осях; антиблокувальної гальмівної системи; курсової й динамічної стійкості; протибуксувальної системи. При цьому регулювання, здійснюване кожною з її підсистем електронного блоку, дозволяє забезпечувати вибір бажаних прохідних перетинів впускних і випускних клапанів і часом їхнього знаходження в даному стані.

Все це в остаточному підсумку забезпечує протікання процесу гальмування або звичайного руху транспортного засобу в будь-яких зчпних, швидкісних і навантажувальних умовах на режимах, близьких до оптимального.

При відпусканні гальмівної педалі електроживлення крокових двигунів всіх модуляторів і відповідних систем керування припиняється. Під дією пружини 11 золотник із пневмоклапаном 12 повертаються вліво у вихідне положення, при цьому відбувається відкриття отвору 14, через яке стиснене повітря з виконавчих органів (гальмівних камер) виходить через випускне вікно 24 в атмосферу.

У випадку виходу з ладу, будь-якого контуру електронно-пневматичної гальмівної системи, га-

7

91121

8

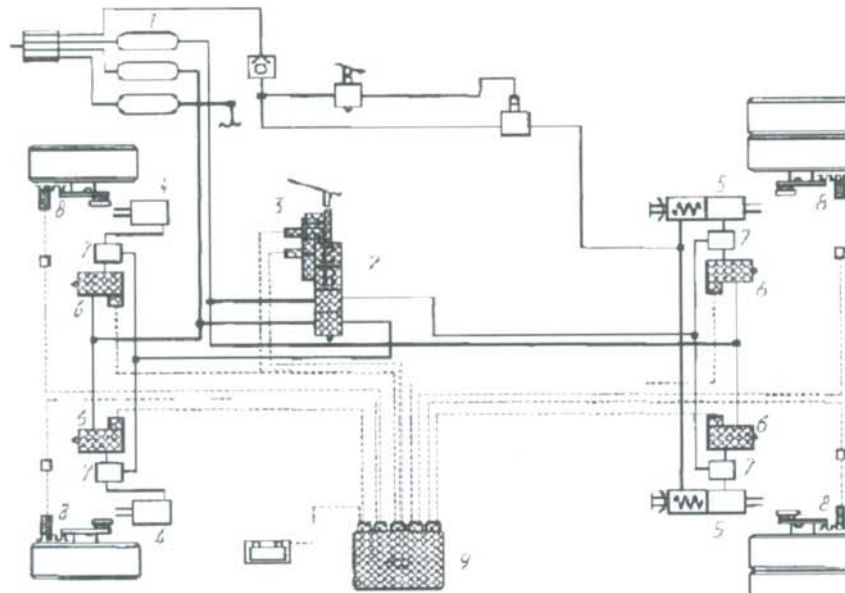
льмування транспортного засобу здійснюється контуром, що залишився.

При виході з ладу всієї електричної частини гальмування здійснюється резервною (запасною) гальмівною системою, у такий спосіб: при натисканні на педаль гальма стиснене повітря від гальмівного крана 2 надходить до двомагістрального захисного клапана 7, що перекриває канал, з'єднуючий модулятор 6 з виконавчим органом (гальмівною камерою), і далі пропускає стиснене повітря у виконавчий орган (гальмівну камеру). Таким чином, при виході з ладу всієї електричної частини гальмування здійснюється як у звичайній пневматичній гальмівній системі.

Описані відмінні якості електронно-пневматичної гальмівної системи перебувають у

причинно-наслідковому зв'язку з отриманим новим технічним результатом - можливістю виконання модулятором відповідних функцій у складі електронно-пневматичного гальмівного привода, регулятора гальмівних сил, антиблокувальної системи, системи забезпечення курсової й динамічної стійкості - при русі автотранспортного засобу на гальмівному режимі й у складі протибуксувальної системи й системи забезпечення курсової й динамічної стійкості - при русі автотранспортного засобу на тяговому режимі.

Електронно-пневматична гальмівна система, що заявляється, відрізняється відносною простотою конструкції й може забезпечити ефективність роботи, близьку до оптимальної.

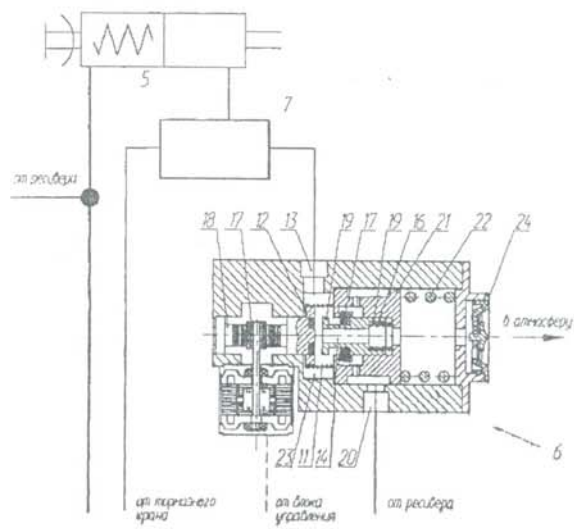


Фиг.1

9

91121

10



Фіг.2

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Підписне

Тираж 26 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Приложение В.

акты внедрения

Утверждаю

Технический директор

ОАО «Полтавский автоагрегатный завод»



Ю. В. Пересичанский

2009 г.

АКТ

о внедрении разработки, выполненной специалистами Харьковского
национального автомобильно-дорожного университета.

Составлен комиссией:

Зеленский С. Н. – главный конструктор ОАО «ПАЗ», Жура П.В. – зам.гл.
конструктора, Клименко В. И. – проф., зав. кафедрой автомобилей ХНАДУ,
Рыжих Л. А. - проф. кафедры автомобилей ХНАДУ, Красюк А. Н. – аспирант
кафедры автомобилей ХНАДУ.

Комиссия провела работу по определению фактического использования
ОАО «ПАЗ» разработок аспиранта Красюка А.Н. и установила следующее:

1. Усовершенствована конструкция электронно-пневматической тормозной системы, позволяющая обеспечить более высокую надежность тормозной системы в целом.
2. Разработан пропорциональный модулятор для электронно-пневматической тормозной системы, позволяющий обеспечивать

следящее и регулирующее действие без датчика обратной связи по давлению (патент Украины № 36321).

3. Разработана методика выбора параметров пропорционального модулятора и шагового двигателя, позволяющая определить основные геометрические и функциональные параметры.
4. Усовершенствована математическая модель контура электронно-пневматической тормозной системы транспортного средства с пропорциональным модулятором, которая используется при определении динамических характеристик контура и оценки влияния алгоритмов управления исполнительными механизмами на тормозную динамику транспортного средства.
5. Выполнены экспериментальные исследования работы контура электронно-пневматического тормозной системы с пропорциональным модулятором.

Результаты исследования приняты ОАО «Полтавский автоагрегатный завод» к использованию в перспективных разработках.

Комиссией установлено, что участие ассистента Красюка А.Н. в указанной разработке составляет 80 %.

Акт составлен в 4-х экземплярах.

Экземпляры 1, 2, 3 – переданы в ХНАДУ

Члены комиссии:



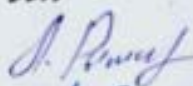
Зеленский С. Н.



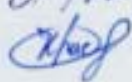
Жура П.В.



Клименко В. И.



Рыжих Л. А.



Красюк А. Н.



публічне акціонерне товариство
ВОВЧАНСЬКИЙ АГРЕГАТНИЙ ЗАВОД
 вул. Пушкіна, 2, м. Вовчанськ, Харківська
 обл., 62504, Україна
 телефон +38 (05741) 4-27-03
 тел./факс +38 (05741) 4-34-30
 e-mail: vza@kharkov.ukrtel.net
 Код ЄДРПОУ 14309847

публичное акционерное общество
ВОЛЧАНСКИЙ АГРЕГАТНЫЙ ЗАВОД
 ул. Пушкина, 2, г. Волчанск, Харьковская
 обл., 62504, Украина
 телефон +38 (05741) 4-27-03
 тел./факс +38 (05741) 4-34-30
 e-mail: vza@kharkov.ukrtel.net
 www.vza.com.ua
 EN ISO 9001:2008

Утверждаю

Председатель правления ПАО

«Волчанский агрегатный завод»

Лауреат Государственной премии
 Украины, кандидат технических наук.



А.А. Антоненко

04 2010 г.

АКТ

о внедрении разработки, выполненной специалистами Харьковского
 национального автомобильно-дорожного университета.

Составлен комиссией:

Жердев Н. С. – главный инженер ПАО «Волчанский агрегатный завод»,

Казмирук В. И.- главный конструктор ПАО «Волчанский агрегатный
 завод»,

Клименко В. И. – проф., зав. кафедрой автомобилей ХНАДУ,

Рыжих Л. А. - проф. кафедры автомобилей ХНАДУ.

Комиссия провела работу по определению фактического использования
 ПАО «Волчанский агрегатный завод» разработок аспиранта Красюка А.Н. и
 установила следующее:

1. Разработан пропорциональный модулятор для электронно-пневматической тормозной системы, позволяющий обеспечивать следящее и регулирующее действие без датчика обратной связи по

давлению, имеющий высокую унификацию с изделиями производимыми на ПАО «ВАЗ».

2. Разработана методика выбора параметров пропорционального модулятора и шагового двигателя, позволяющая определить все геометрические и функциональные параметры.
3. Предложена статическая математическая модель пропорционального модулятора электронно-пневматической тормозной системы транспортного средства, которая позволяет оценить качество следящего действия.
4. Выполнены экспериментальные исследования по определению статической характеристики, которые показали, что пропорциональный модулятор предложенной конструкции обеспечивает высокое качество следящего действия.

Данные исследования приняты ПАО «Волчанский агрегатный завод» к использованию в перспективных разработках завода.

Комиссией установлено, что участие аспиранта Красюка А.Н. в указанной разработке составляет 80 %.

Акт составлен в 4-х экземплярах.

Экземпляры 1, 2, 3 – переданы в ХНАДУ

Члены комиссии:

	Жердев Н. С.
	Казмирук В. И.
	Клименко В. И.
	Рыжих Л. А.



Науково-виробнича фірма «ЕЛОН-ТТ»

Україна, 61085, м. Харків, а/с 2801, тел. (057) 760-33-01, тел/факс (057) 719-06-28, E-mail: bond@elon.kharkov.ua

п/р № 26001818345690 у ПАТ "БАНК Трент", м. Харкова, МФО 351607, ЄДРПОУ 21266848

Номер платника ПДВ 212668420300.

Номер свідоцтва 28248782.

ТОВ НВФ «ЕЛОН-ТТ» є платником податку на прибуток на загальних підставах.

Утверждаю

Директор науково-виробничої
фірми «Елон-ТТ»



А.В. Бондарович

2010 г.

АКТ

О внедрении разработки, выполненной специалистами Харьковского
национального автомобильно-дорожного университета

Составлен комиссией:

Харитонов А.С. – главный конструктор НПФ «Элон-ТТ»,

Водка Е.И. – старший инженер НПФ «Элон-ТТ»,

Клименко В.И. – проф., зав. кафедрой автомобилей ХНАДУ,

Рыжих Л.А – проф., кафедры автомобилей ХНАДУ,

Комиссия провела работу по определению фактического использования
НПФ «Элон-ТТ» разработок аспиранта Красюка А. Н. и установила
следующее.

1. Усовершенствован алгоритм получения скорости колеса,
позволяющий обеспечить устойчивую работу системы управления
электронно-пневматической тормозной системы автомобиля.

2. Предложен алгоритм управления контуром электронно-пневматической тормозной системы автомобиля.

3. Проведены экспериментальные исследования контура электронно-пневматической тормозной системы автомобиля, подтверждающие возможность использования предложенного алгоритма для разработки блока управления электронно-пневматической тормозной системы.

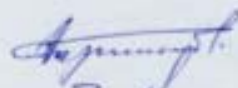
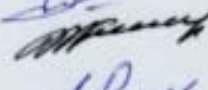
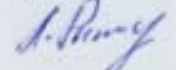
Данные исследования используются в перспективных разработках НПФ «Элон-ТТ».

Комиссией установлено, что участие аспиранта Красюка А.Н. в указанной разработке составляет 70%.

Акт составлен в 4-х экземплярах.

Экземпляры 1, 2, 3 – переданы в ХНАДУ

Члены комиссии:

	Харитонов А.С.
	Водка Е.И.
	Клименко В.И.
	Рыжих Л.А.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чередніченко Л.В. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку / Юрченко Т.В., Гринь Л.А. – К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – 275 с.
2. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения: Правила ЕЭК ООН № 13 (09) / Пересмотр 5. – [введён в действие с 2006-01-01]. – Минск.: Госстандарт Беларуси, 2005. – 300с (Международный стандарт).
3. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N, і О стосовно гальмування: ДСТУ UN/ECE R 13-07, 08-2002(Правила ЕЭК ООН № 13-07,08:1996, IDT). – [Чинний від 2003-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2002. – 258. – (Національний стандарт України).
4. Клименко В. И. Пути совершенствования электронно-пневматической тормозной системы / В. И. Клименко, Л. А. Рыжих, С. В. Тишковец, А. Н. Красюк // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.. В. Даля № 7(125) частина 2 [Сб. науч. трудов]. – Луганськ 2008. – 127-131 с.
5. Леонтьев Д. Н. Современные электронно-пневматические рабочие тормозные системы и их особенности / Д. Н. Леонтьев, Л. А. Рыжих, С. Й. Ломака, А. Н. Красюк // журнал Автомобильная промышленность №5, Россия – 2009.
6. Ломака С. И., Дорожные испытания антиблокировочных систем в пневматическом тормозном приводе / С. И. Ломака, А. А. Чебан, А. Н. Красюк, Д. О. Новик // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.. В. Даля № 11(141) [сб. науч. Трудов]. – Луганськ, 2009 77-83 с.
7. Пат. 36321 Україна, МПК В60Т 8/36. Пропорційнальний модулятор електронно-пневматичної гальмівної системи / заявники Туренко А.Н., Ломака С.Й., Клименко В.І., Рижих Л.О., Тишковець С.В., Чебан А.А.,

- Красюк О.М; патентовласник ХНАДУ. – № 200805078; заявл. 21.04.2008; опубл. 27.10.2008. – 7с.
8. Пат. 2385242 Российская Федерация, МПК В60Т 8/36. Пропорциональный модулятор электронно-пневматической тормозной системы / заявители Туренко А.Н., Ломака С.Й., Клименко В.И., Богомолов В.А., Рыжих Л.А., Тишковец С.В., Леонтьев Д.Н, Чебан А.А., Красюк А.Н. (Украина); патентообладатель ХНАДУ. – № 2008116957/11; заявл. 28.04.2008; опубл. 27.03.2010; бюл. №9. – 7с.
 9. Ломака С. И. Моделирование статической характеристики пропорционального модулятора электронно-пневматического тормозного привода / С. И. Ломака, Л. А. Рыжих, А. Н. Красюк // Вестник ХНАДУ № 45 [Сб. науч. трудов]. – 2009. – 85-89 с.
 10. Ломака С. И. Математическая модель контура электронно-пневматического тормозного привода с пропорциональным модулятором / С. И. Ломака, Л. А. Рыжих, А. Н. Красюк // Автомобильный транспорт №24 [Сб. науч. трудов]. – 2009. – 7-12 с.
 11. Леонтьев Д.Н. «Системы автоматического регулирования и практическая реализация алгоритма управления их исполнительными механизмами / Д.Н. Леонтьев, Л.А. Рыжих, С.Й. Ломака, А.Н. Красюк, А.А. Чебан // Вестник национального технического университета «ХПИ». Тематический выпуск: Транспортное машиностроение [Сб. науч. трудов].. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009. №47. -200с.
 12. Редзюк А.М. Проблема безпеки дорожнього руху в Україні та заходи щодо суттєвого зменшення загиблих і постраждалих у ДТП // Автошляховик України. – К.: Науково-практичний журнал. – 2005. – №5. – С. 6-10.
 13. Adaptive Cruise Control The intelligent solution [Электрон. текстовые данные] WABCO 2005. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) – Системные требования: Windows 2000/XP. Acrobat Reader. – Заголовок с титул. экрана.

14. BVA/EBS Gutachterliche Stellungnahme TÜV Automotive Test Center - TB 2002 - 64.00 [Электронный ресурс] – Hannover: WABCO INFORM 2004. – 8 p. – Режим доступа: www.wabco-auto.com.
15. ELB, das elektronisch gesteuerte Bremssystem verspricht Kurzere Reaktionszeiten. Autotechnik und Verkehr [Электронный ресурс]: 1985, № p. 34. – Режим доступа: www.wabco-auto.com.
16. Electronic braking system for Trailers with roll over protection. KNORR-BREMSE System for comercial Vechicles [Электронный ресурс]: Product informations. Режим доступа: <http://en.knorr-bremsesfn.com/systems/>.
17. Technical Report No. EB 134.1E for Trailer EBS D generation with Roll Stability support (RSS) [Электронный ресурс]. – Hanover: WABCO INFORM, 2007. – 21 p. – Режим доступа: www.wabco-auto.com.
18. Ключкин Г.Г. Электронная тормозная система Кнорр-Бремзе – шаг к новому уровню активной безопасности грузового автотранспорта / Г.Г. Ключкин, В.А. Галамин, В.С. Перфильев, Н.В. Кравцов // Издательство «Машиностроение» Грузовик № 9, 2002, с. 43 – 45.
19. Фрумкин А.К. электропневматический привод тормозной системы / А.К. Фрумкин, Я.Е. Фаробин, А.И. Попов, А.Н. Солнцев // Автомобильная промышленность – 1986. - №12 – с. 23 – 24.
20. Попов А.И. Автомобильные тормозные приводы с использованием электрической энергии / А.И. Попов, Л.В. Гуревич. – М., 1985 – 38 с. – Деп. В редколлегии журнала „Автомобильная промышленность” 27.12.85, № 1332.
21. Попов А.И. Автомобильные тормозные электроприводы / А.И. Попов, Л.В. Гуревич // Автомобильная промышленность – 1986. - №8 – с. 18 - 22.
22. Попов А.И., Оценка характеристик электропневматического тормозного привода / А.И. Попов, В.В. Нужный // Пути совершенствования автомобиля и его агрегатов / Моск. автомоб. – дор. ин-т. –М., 1988. –с. 35-40.

23. Гуревич Л.В. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств: Устройство и эксплуатация / Л.В. Гуревич, Р.А. Меламуд. – М.: Транспорт, 1988.-224с.: ил., табл. – Библиогр.: с 223.
24. Михалевич Н.Г. Совершенствование электропневматических аппаратов тормозного привода автотранспортных средств: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.02 / Михалевич Николай Григорьевич. – Харьков., 2009. – 219 с.
25. Методика построения и исследования тормозных характеристик автомобиля / [Генбом Б.Б. и др.]; Автомобильная промышленность. – 1972. – №4. – С. 16-19.
26. Вопросы динамики торможения и рабочих процессов тормозных систем автомобилей / [Генбом Б.Б. и др.]; Львов: Вища школа, 1974. – 234 с.
27. Оржевский И.С. Особенности гидропривода тормозных систем современных легковых автомобилей / И.С. Оржевский, И.В. Тумасянц. – М.: НИИНавтопром, 1981. – 46 с.
28. Ломака С.И. Исследование влияния противоблокировочных устройств на процесс торможения автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Ломака Степан Йосифович. – Харьков, 1965. – 287 с.
29. Алёкса Н. Н. Исследование влияния основных параметров модулятора давления в пневмоприводе тормозов на эффективность торможения автомобиля с противоблокировочными устройствами: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Алёкса Николай Николаевич. – Харьков, 1978. - 157 с.
30. Ходырев С. Я. Разработка и исследование механического противоблокировочного устройства для автомобильных и тракторных тормозных систем с пневматическим приводом. Автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 «Автомобили и тракторы» / С. Я. Ходырев. – Харьков, 1985. – 26 с.
31. Северин А. А. Совершенствование исполнительной части антиблокировочных систем автомобилей с пневматическим тормозным приводом: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Северин Александр Александрович - Харьков, 1985. - 199 с.

32. Kroemer Ebergard. Pedal Operation by the Seated Operator // SAE paper. – 1972. № 720004. – pp. 1 - 10.
33. Geupel Helmut und Reicel Max. Auslegung der Betätigungseinrichtung für Bremsen von Personenwagen // ATZ. – 1977. – №7/8. – S.291–294.
34. Geupel Helmut. Bremsanlage der neuen großen BMW-Wagen. Bauraihe 7 //ATZ. – 1977. – №11. – S.499–504.
35. Segel L. Mortimer R. Driver Braking Performance as a Function of Pedal – Force and Pedal Displacement Ferrell's. Paper of International Automobile safety Conference, May-June 1970, Bruxelles and Detroit, New York // SAE paper. – 1970. – 1319 pp.
36. Mortimer G. Rudolf. Some Braces are Too Sensitive According to Performance Tests // Automotive Engineering. – 1971, May. – S. 31 – 35.
37. Fazekas G.A. Brace torque //Automobile Engineer. – 1951 – № 5. – pp.185–191.
- 38.Достаточно общая теория управления. Постановочные материалы учебного курса факультета прикладной математики — процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета (1997 — 2003 гг.). – Санкт-Петербург, 2003. – 419 с.
- 39.EBS тормозне системы с электронным управлением. Описание системы и ее функционирования. 2-я редакция, [Электронный ресурс]: Технический проспект. A Division WABCO Standart GmbH. EBS (EPB) –2007 edition 28с. – Электрон. текстовые данные. WABCO 2007. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) – Системные требования: Windows 2000/XP. Acrobat Reader. – Заголовок с титул. экрана.
- 40.Systems And Components In Commercial Vehicles. [Электронный ресурс]: Технический проспект. A Division WABCO Standart GmbH. EBS (EPB) – 2003 edition 28с. – Электрон. текстовые данные. WABCO 2005. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) – Системные требования: Windows 2000/XP. Acrobat Reader. – Заголовок с титул. экрана.

41. EBS – Electronically Controlled Breaking System in the city bus CITARO /CITO. System and Functional description. Edition 1 [Электронный ресурс]: Технический проспект. A Division WABCO Standart GmbH. EBS (EPB) – 2003 edition 28с. – Электрон. текстовые данные. WABCO 2005. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) – Системные требования: Windows 2000/XP. Acrobat Reader. – Заголовок с титул. экрана..
42. Information for commercial vehicles products. Products catalogue, [Электрон. текстовые данные]. KNORR-BREMSE 2004. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) – Системные требования: Windows 2000/XP. Acrobat Reader. – Заголовок с титул. экрана. - 352 с.
43. Пат. 4861115 США, МКИ В60Т 8/38 НКИ 303/15. Electrically-controlled motor vehicle brake system/ Т. Erwin Petersen (Германия); заявитель и патентообладатель WABCO Westinghouse (Германия). - № 261792; Заявл. 24.10.1988; Опубл. 29.08.1989.
44. Клименко В. И. Экспериментальные исследования динамики электропневматического тормозного привода / В. И. Клименко, Н. Г. Михалевич, А. А. Чебан, А. Н. Красюк // Автомобильный транспорт. [сб. науч. Трудов]. – Харьков, 2005. – №16. – С. 156-158.
45. Пат. 6206481 США, МПК В60Т 8/50 НКИ 303/7. Trailer control valve for a compressed air brake system for motor vehicles / Olaf Kaisers, Eberhard Schaffert (Германия); заявитель и патентообладатель Knorr-Bremse (Германия). - № 09/142.477; заявл. 11.12.1996; опубл. 12.09.1997.
46. Пат. 6386649 США, МПК В60Т 8/34 НКИ 303/119.2. Two solenoid pressure modulated relay valve with integral quick release function for ABS / Charles E. Ross (США); заявитель и патентообладатель AlliedSignal Truck brake systems (США). - № 09/410,519; опубл. 14.05.2002.
47. Пат. 6588856 США, МПК В60Т 8/34 НКИ 303/119.2. Modulator relay valve assembly and metod / Robert J. Herbst, Gregory R. Ashley, George S. Wagner (США); заявитель и патентообладатель Benbix Commercial Vehicle Systems LLC (США). - № 09/924,187; опубл. 08.07.2003.

48. Рыжих Л.А. Особенности рабочих процессов пневматического привода автомобилей при низких температурах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.02. / Рыжих Леонид Александрович. – Харьков., 1987. – 219с.
49. Пат. 4773447 США, МПК F16K 11/10 НКИ 137/627.5. Electromagnetic valve / Asaji Imanaka, Mitsuhiro Ikeda (Япония); заявитель и патентообладатель Nippon Air brake Co., Ltd., (Япония). - № 66,900; Оpubл. 27.09.1988.
50. Пат. 2001/003305 США, МПК B60T 13/00 НКИ 303/20. Braking pressure modulator for an electronic braking system / заявитель и патентообладатель Dieter Frank, Gerdt Schreiber, Peter Hohmann, Armin Sieker, Andreas Kranz, Harimut Schappler, Hans-Klaus Wollf, Dirk Meier (Германия);. - № 09/792,429; опубл. 25.10.2001.
51. Пат. 2007/0236080 США, МПК B60T 8/32 НКИ 303/119.2. Brake-pressure modulator pilot unit / заявитель и патентообладатель Dieter Frank, Juan Rovira-Rifaterra, Armin Sieker, Andreas Taichmann (Германия);. - № 11/658,066; опубл. 11.10.2007.
52. Пат. 6325468 США, МПК B60T 8/64 НКИ 303/18. EBS modulator with direct exhaust capability / заявитель и патентообладатель Thanh ho, Robert J. Herbst (США). - № 09/165,470; заявл. 02.10.1998; опубл. 4.12.2001.
53. Пат. 2314217 Российская федерация, МПК B60T 8/36. Модулятор электронной тормозной системы / Туренко А.Н., Ломака С.Й., Клименко В.И., Богомолов В.А., Рыжих Л.А., Чебан А.А., Мельник С.П., Кирчатый Ю.В., Назаренко И.Н., Красюк А.Н. (Украина).- № 200511679/11; заявл. 19.04.2005; опубл. 27.10.2006. – 7с.
54. Пат. 6325468 США, МПК B60T 8/64 НКИ 303/18. EBS modulator with direct exhaust capability / заявитель и патентообладатель Thanh ho, Robert J. Herbst (США). - № 09/165,470; заявл. 02.10.1998; опубл. 4.12.2001.
55. Пат. 5154203 США, МПК B60T 15/02 НКИ 137/116.3. Proportional modulator for an electropneumatic braking system / Jeffrey J. Krause, Paul W.

- Wozniak, Ronald E. Squires (США); заявитель и патентообладатель Allied-Signal Inc. (США). - № 599,761; опубл. 18.10.1990. – 5с.
56. Пат. 5067524 США, МПК F16K 31/10 НКИ 137/627.5. Differential pressure control valve / Josef Pickenhahn (Германия); заявитель и патентообладатель Lucas Industries public limited company. (Англия). - № 634,559; опубл. 26.11.1991.
57. Пат. 5123718 США, МПК B60T 8/64 НКИ 303/118. Valve for automatic brake system / Jeffrey A. Tyler (США); заявитель и патентообладатель G. W. Lisk Company Inc. (США). - № 505,889; опубл. 23.07.1992.
58. Пат. 2102265 Российская федерация, МПК B60T 8/36 Пневматический соленоидный клапан / заявитель и патентообладатель Филипп Кастель; Жильбер Кервагоре (Франция), Алльедсиньяль Эроп Сервис Текник (Франция) – № 95120162/11; заявл. 19.01.1994; опубл. 20.01.1998 бюл. №2.
59. Пат. 84437 Україна, МПК B60T 8/36. Модулятор електронно-пневматичної гальмівної системи / Туренко А.М., Ломака С.Й., Клименко В.І., Рижих Л.О., Леонтьев Д.М., Чебан А.А., Красюк О.М., Тишковець С.В. (Украина).- №200602536 заявл. 09.03.2006; опубл. 27.10.2008. – 7с.
60. Д. Шольц. Пропорциональная гидравлика. Основной курс TP701. / Д. Шольц. [Сборник задач], Пер. с нем. – Москва, 2005.
61. Пат. 2121726 Российская федерация, МКИ H01F7/17. Пропорциональный электромагнит / Глазунов С.Д.; Иванов Р.Л.; Тишинин А.И. (Россия), заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Специальное конструкторское бюро приборостроения и автоматики" – № 97119453/09; заявл. 10.11.1997; опубл. 10.11.1998. – 8с.
62. Ридико Л. И. Раз шажок, два шажок... Схемотехника 2001. №9 (11), с. 18 – 19.
63. Система показателей качества продукции. Аппараты пневматического тормозного привода автотранспортных средств. Номенклатура показателей и метод оценки технического уровня и качества

- ОСТ 37.001.274-84. [Действителен с 01.01.82]. – М.: Минавтопром, 1984. – 8с.
- 64.Мюллер Г. Тормоза // Г. Мюллер, Р. Бюссиен. [автомобильный справочник]. – М., 1959. – с. 501 – 529.
- 65.Управление тормозными системами / ТПП УССР. - № 1555. – Харьков, 1982. – 31с. – Пер. ст. Gravel I. из журн.: Bosch Technisch Berichte. – 1980. 7. - № 1. – с. 13-22.
- 66.Thoms E. K. The human aspect in the design of footbrake valve // Braking of road vehicle: Conf. proc. – Londo, 1983. - p. 59-64.
- 67.Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю ДСТУ 3649-97. [Чинний від 29.09.1997].. – К.: Держстандарт України, 1998. – 13 с (Національний стандарт України).
- 68.Грузовые автомобили. Технические требования. ГОСТ 21398 – 89. [Действителен с 29.09.1997]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 27 с.
- 69.Чиликин М.Г. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями./ Под М.Г. Чиликин, Б.А. Ивоботенко, В.П. Рубцов, В.Ф. Козаченко, В.К. Цаценкин. – М.: «Энергия», 1971.-624 с.
- 70.Ивоботенко Б. А. Проектирование шагового электропривода / Б. А. Ивоботенко, В. Ф. Козаченко, под ред. Л. А.Садовского. – М.:Моск. энерг. ин-т, 1985.-100 с.
- 71.Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200с.
- 72.Совершенствование способов регулирования выходных параметров тормозной системы автотранспортных средств / [Туренко А.Н., Богомоллов В.А., Клименко В.И., Кирчатый В.И., Ходырев С.Я.]; – Харьков: Издательство ХНАДУ (ХАДИ), 2002. – 400с.
- 73.Косий Р.А. Разработка и исследование тормозного крана пневматического тормозного привода автотранспортного средства: Дис. канд. техн. наук: 11. 10. 2000. / Косый Роман Анатолиевич. – Харьков, 2000. - 67с.

74. Нейдорф Р.А. Исследование возможностей квазиоптимального по быстродействию управления шаговым двигателем / Р.А. Нейдорф, А.А. Солоха. Детерминированные системы 2006. №2(12) [сб. науч. Трудов], с. 111 – 119.
75. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высш.шк., 2002.
76. Метлюк, Н.Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко. – М: Машиностроение. – 1980. – 232 с.
77. Метлюк Н. Ф. Динамический расчет простейшей цепи пневматических приводов / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко // Автомобильный транспорт и дороги. – 1975. – №2 – С. 62–69.
78. Метлюк Н.Ф. Исследование динамических характеристик двухзвенной пневматической цепи тормозного привода / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко, П. Р. Бартош // Автотракторостроение. Тяговая динамика и режимы работы агрегатов автомобилей, тракторов и их двигателей. – 1976. – №8 – С.57-63.
79. Модуль педальный. Технические условия КДБА.453621.001. ТУ [дата регистрации 23.01.2008]. – 27 с.
80. Рыжих Л. А. Анализ датчиков угловой скорости колес автотранспортных средств / Л. А. Рыжих, А.А. Чебан, С.В. Тишковец, А.Н. Красюк. // Автомобильный транспорт [сборник научных трудов] выпуск №21 2007 7-12 с.
81. S. Eljev Адаптация датчиков вращения и проектирование импульсного кольца АБС. KNORR-BREMSE System for comercial Vechicles [Электрон. текстовые данные] KNORR-BREMSE 2005. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) – Системные требования: Windows 2000/XP. Acrobat Reader. – Заголовок с титул. экрана.

82. Ратмиров В. А. Шаговые двигатели для систем автоматического управления / В. А. Ратмиров, Б. А. Ивоботенко, М. – Л., Госэнергоиздат., 1962.-128 с. (Библиотека по автоматике, вып. 66).
83. Электронный каталог продукции фирмы ЭЛКОС 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа к каталогу: www.elkos.com.ua.
84. Поляк Д. Г. Электроника автомобильных систем управления / Д. Г. Поляк, Ю. К. Есеновский-Лашков. – М.: Машиностроение, 1987. – 200 с.
85. Псигин Ю. В. Управление системами и процессами машиностроения: Учебное пособие / Ю. В. Псигин. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 76 с.
86. Миронов С.В. Метасистемный подход в управлении / С.В. Миронов, А.М. Пищухин. [монография]. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004.- 338 с.
87. Артамонов Д.В. Основы теории линейных систем автоматического управления / Д.В. Артамонов, А. Д. Семенно. [учебн. пособие]. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003.-135 с.
88. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления [учебн. пособие]. – М.: Наука. Гл. ред. Физ. – мат. лит., 1986 – 616 с.
89. Мельников А.А. Теория автоматического управления техническими объектами автомобилей и тракторов [учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений] – М.: Издательский центр «Академия», 2003.- 280 с.
90. Мельников А. А. Управление техническими объектами автомобилей и тракторов: Системы электроники и автоматики [учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений] – М.: Издательский центр «Академия», 2003.- 376 с.
91. Антонов В. Н. Адаптивное управление в технических системах / В. Н. Антонов, В. А. Терехов, И. Ю. Тюкин [учеб. пособ.] – СПб.: Издательство С. – Петербургского университета, 2001. – 244с.
92. Лукас В.А. Теория управления техническими системами [компактный учеб. курс для вузов] – 3-е издание. перераб. и допол. – Екатеринбург. Изд-во УГГГА 2002 – 675 с.

93. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения, Гостехиздат, М., 1950. – 464.
94. Гируцкий О. И. Электронные системы управления агрегатами автомобиля / О. И. Гируцкий, Ю. К. Есеновский–Лашков, Д. Г. Поляк. - М.: Транспорт, 2000. – 213 с.
95. Пневматические приводы и системы управления / Под. ред. Артоболевского И. И. – М.: Наука, 1972. – 298 с.
96. Mortimer G. Rudolf. Some Braces are Too Sensitive According to Performance Tests // Automotive Engineering. – 1971, May. – S. 31 – 35.
97. Ломака С.И. Автоматизация процесса торможения автомобиля / С. И. Ломака, Н. Н. Алёкса, Е. М. Гецович. – Киев: УМК ВО, 1988. – 88с.
98. Нефедьев Я.Н. Теория, разработка и исследование унифицированной системы автоматического управления антиблокировочным торможением грузовых автотранспортных средств: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Московский автомобильно–дорожный ин-ститут.– М., 1987.– 46 с.
99. Петров В.А. Противоблокировочные системы и их алгоритмы функционирования // Автомобильная промышленность.– 1979.– № 7.– С. 20–24.
100. Ревин А.А. Автомобильные автоматизированные тормозные системы: Техническое решение, теория, свойства.– Волгоград: Изд-во Ин-та качеств.– 1995.– 156 с.
101. Ревин А.А. Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения.– Волгоград, ВолГТУ, 2002.–372 с.
102. Иванов В. Г. Теоретические основы доэкстремального управления активной безопасностью при торможении автомобиля: дис. доктора техн. наук / Иванов Валентин Георгиевич. – Минск, 2005. - 377с.
103. Патент № 5566 республика Беларусь МКИ В 60 Т/58. Способ управления антиблокированием колеса при торможении / Лещинский А.И., Лепешко И.И., Бутылин В.Г., Иванов В.Г (BY); Белорусский национальный

- технический университет (ВУ). – № а 19991000; заявл. 1999.11.10; опубл. 2003.09.30.
104. Пат. 2284273 Российская федерация, МПК В 60 Т 8/32. Способ управления колесными тормозами по условиям сцепления антиблокировочной системой с адаптивным алгоритмом / Асадченко В. И.; заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет путей сообщения. - № 2005106689/11; заявл. 09.03.2005; опуб. 27.09.2007 бюл. № 27.
105. Пат. 2277480 Российская федерация, МПК В 60 Т 8/32. Антиблокировочная тормозная система с автоматическим управлением при аварийном торможении транспортного средства / Коневцов М. Д.; заявитель и патентообладатель Коневцов М. Д. - № 2004117834/11; заявл. 11.06.2004; опуб. 10.06.2006 бюл. № 16.
106. Пат. 5918951 США, МКИ В60Т 8/60 НКИ 303/150. Antiskid brake control system using kalman filtering/ Robert Edward Rudd (США); заявитель и патентообладатель WABCO Westinghouse (Германия). - № 261792; Заявл. 24.10.1988; Опубл. 29.08.1989.
107. Пат. 5409302 США, МКИ В60Т 8/58 НКИ 303/112. Braking method and device, vehicle equipped with said device/ Philippe Chabbert, Rueil Malmaison; заявитель и патентообладатель Thomson-CSF (Франция). - № 132039; Заявл. 05.10.1993; Опубл. 25.04.1995.
108. Работа автомобильной шины / [Кнороз В.И., Кленников Е.В., Петров И.П., Шелухин А.С., Юрьев Ю.М.]. - М.: «Транспорт» 1976. – 238 с.
109. Integrated Silicon Pressure Sensor On-Clip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated MPX 5999D [Электрон. текстовые данные] MOTOROLA 2001. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) – Системные требования: Windows 2000/XP. Acrobat Reader. – Заголовок с титул. экрана.

- 110.Бесконтактный датчик положения дроссельной заслонки 3302.3855 [Электронный ресурс] – НПП «ВТН», 2000 - 2010. – Режим доступа: <http://www.vtnauto.com/ru/3302.html>
- 111.Тензодатчики Precision Transducers серии LPX. Описание и технические характеристики. [Электронный ресурс] – Precision Transducers Ltd. 2004. – 2 р. – Режим доступа: <http://www.koda.ua/download/>.
- 112.Приводы пневматические тормозных систем автотранспортных средств. Технические требования. ГОСТ 4364 – 81 [введен в действие с 01.01.1982] - М.: Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.
- 113.Крамской А. В. Совершенствование методов расчёта динамики пневмоаппаратов и пневматического тормозного привода автотранспортных средств: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.02 / Крамской Александр Владимирович. – Харьков, 2006. – 186 с.
- 114.Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 463 с. – (Коэффициенты местных сопротивлений и коэффициенты трения).