

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ТОРМОЗНЫХ СИЛ

Федотов А.И., Громалова В.О.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск

Ключевые слова: испытания, регулятор тормозных сил, динамический режим, пневматический блок, фазовые динамические характеристики аппарата тормозного привода, давление рабочего тела, динамический процесс тестового воздействия, управляющая и измерительная системы.

Аннотация. В статье приведено описание методики динамических испытаний автомобильных пневматических регуляторов тормозных сил с целью их оперативной диагностики на основе компьютерного комплекса. Приведено описание компьютерного комплекса, обеспечивающего тестовые динамические режимы наполнения и опорожнения пневмоаппарата рабочим телом. Приведены статистические характеристики параметров рабочих процессов регулятора тормозных сил, которые влияют на его быстродействие и изменяются в процессе эксплуатации. Приведены результаты исследования влияния силы трения поршня регулятора тормозных сил на форму его фазовых динамических характеристик, а также на его быстродействие в режиме наполнения и опорожнения рабочим телом. Уделено внимание стабильности тестовых динамических режимов функционирования регуляторов тормозных сил в составе компьютерного комплекса. Приведено описание работы схем управляющей и измерительной систем комплекса. Показаны результаты испытаний, которые позволяют очень оперативно и эффективно выполнять входной и выходной контроль регулятора тормозных сил, как сходящих с конвейера завода-изготовителя, так и поступающих из участка ремонта.

EXPERIMENTAL TESTS OF AUTOMOTIVE PNEUMATIC BRAKE FORCE REGULATORS

Fedotov A.I., Gromalova V.O.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

Keywords: testing, brake force regulator, dynamic mode, pneumatic unit, phase dynamic characteristics of the brake actuator, air pressure, dynamic test process, complex with control and measuring systems.

Abstract. The article describes the methods of dynamic testing of automotive pneumatic brake force regulators for the purpose of their operational diagnostics based on a computer complex. The description of a computer complex providing dynamic test modes of filling and emptying a pneumatic device with a working fluid is given. The statistical characteristics of the brake force regulator workflow parameters that affect its performance and change during operation are given. The results of a study of the effect of the friction force of the brake force regulator piston on the shape of its phase dynamic characteristics, as well as on its performance in the filling and emptying mode of the working fluid, are presented. Attention is paid to the stability of the dynamic test modes of operation of braking force regulators as part of the computer complex. A description of the operation of the control and measuring system circuits of the complex is given. The test results are shown, which make it possible to perform input and output control of brake force regulator very quickly and efficiently, both those coming off the assembly line of the manufacturer and those coming from the repair site.

Введение

Регуляторы тормозных сил (РТС) современных автомобилей являются важными аппаратами пневматического тормозного привода (ППП), влияющими на их активную безопасность в условиях эксплуатации. При этом РТС требуют к себе очень пристального внимания с точки зрения контроля их выходных параметров и быстродействия [1-3].

Значительный вклад в решение вопроса контроля технического состояния и настройки РТС, работающего в составе автомобиля, был сделан Григорьевым И.М. в работе [4]. На основе его исследований запатентован метод [5], позволяющий выполнять контроль технического состояния РТС на основе синусоидального изменения угла поворота рычага, регулирующего давление в зависимости от загрузки автомобиля. Метод эффективен в тех случаях, когда необходимо проверить работоспособность и настроить РТС, установленный на автомобиль.

При этом вопрос о контроле качества РТС пневматического тормозного привода, поступающих из зоны ремонта, а также новых РТС, поступающих на завод-изготовитель автомобилей, остается актуальным. Поскольку, во-первых, выполнять контроль таких РТС в составе автомобиля (*а при необходимости и менять*) не рационально и трудоемко. Во-вторых, тестовое изменение угла поворота рычага 8 (рис. 1) позволяет выполнить контроль РТС при изменении нагрузки автомобиля или в процессе движения по неровной дороге (*это частный случай работы РТС*). И, в-третьих, метод не позволяет определять быстродействие РТС, особенно при экстренном торможении и его влияние на быстродействие тормозного привода.

Поэтому испытания регуляторов тормозных сил с контролем их быстродействия целесообразно выполнять на основе динамического метода [1-3, 6], реализация которого возможна исключительно на основе высококачественного эффективного научно-исследовательского оборудования [3, 6, 7]. Для этого на автоцентре КамАЗ были получены статистические характеристики параметров технического состояния работоспособных и неработоспособных РТС, которые приведены в таблицах 1 и 2.

Табл. 1. Статистические характеристики параметров технического состояния работоспособных РТС, влияющих на их быстродействие

Измеряемый параметр, влияющий на быстродействие РТС Статистические характеристики	Сила трения ступенчатого поршня, Н	Момент трения оси рычага, Нм	Преднатяг пружины клапана, Н
Среднее значение, $\bar{X}$	32,46	0,0034	17,51
Стандартное отклонение, σ	4,87	0,00047	1,79
Коэффициент вариации, v	0,15	0,14	0,10
Объем выборки, шт.	116	116	116
Вероятность согласия с законом Гаусса, $P(\chi^2)$	0,19	0,26	0,29
Относительная ошибка измерения, $\delta(\%)$	3,92	2,07	2,85

Табл. 2. Статистические характеристики параметров технического состояния неработоспособных РТС, влияющих на их быстродействие

Измеряемый параметр, влияющий на быстродействие РТС Статистические характеристики	Сила трения ступенчатого поршня, Н	Момент трения оси рычага, Нм	Преднатяг пружины клапана, Н
Среднее значение, $\bar{X}$	127,7	0,0195	11,59
Стандартное отклонение, σ	37,03	0,0047	2,67
Коэффициент вариации, v	0,29	0,24	0,23
Объем выборки, шт.	156	138	31
Вероятность согласия с законом Гаусса, $P(\chi^2)$	0,37	0,29	0,19
Относительная ошибка измерения, $\delta(\%)$	2,99	3,02	1,19

Основная часть

Оборудование для испытания регуляторов тормозных сил должно обеспечивать следующие процедуры [1, 3, 8-11].

1. Задание тестового динамического воздействия на объект испытаний.
2. Измерение параметров процесса функционирования РТС, а также давления рабочего тела на его входе и выходе.
3. Аппаратное преобразование измеренных электрических параметров в форму, удобную для их обработки и выделения полученной информации.
4. Анализ полученной информации и сравнение с её нормативными значениями.
5. Постановка диагноза.
6. Сохранение результатов испытаний.

Для реализации процедур испытаний РТС на кафедре Автомобильного транспорта ИРНИТУ было разработано, отлажено и апробировано специальное оборудование. Данное оборудование представляет собой компьютерный комплекс, позволяющий выполнять испытания аппаратов ПТП, в том числе и РТС, с целью контроля их технического состояния (рис. 1).

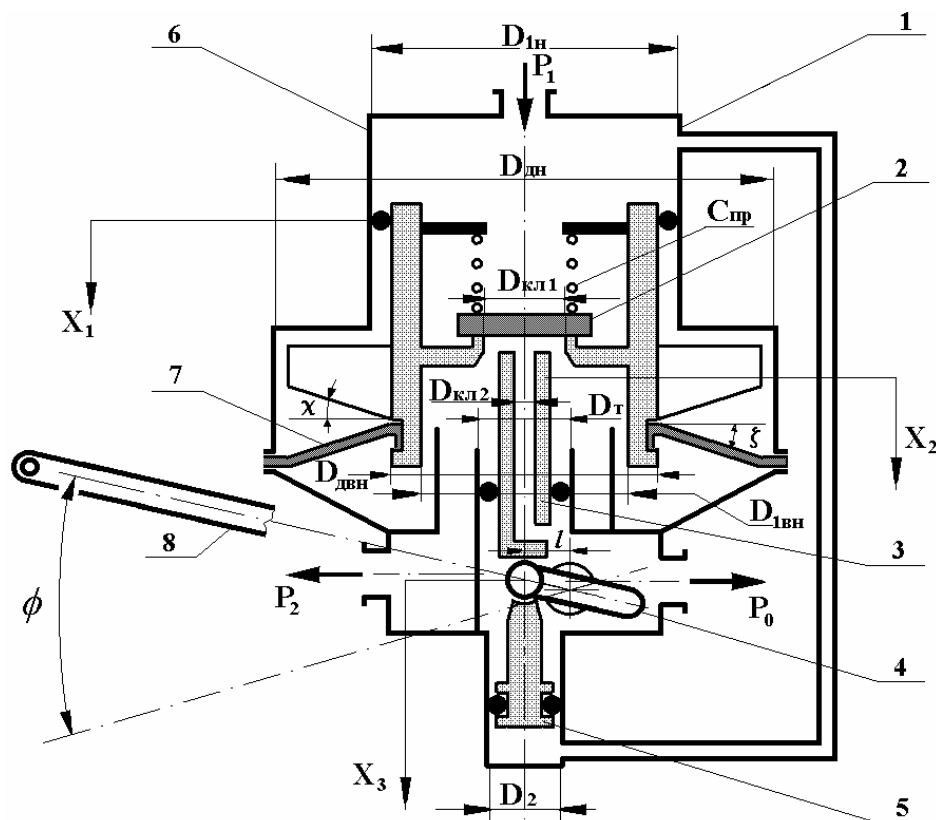


Рис. 1. Схема автомобильного регулятора тормозных сил пневматического тормозного привода КамАЗ: корпус РТС; 2 – клапан следящей системы с пружиной; 3 – толкатель; 4 – ось с шаровой пятой; 5 – компенсирующий поршень; 6 – ступенчатый поршень; 7 – эластичная мембрана; 8 – рычаг, регулирующий давление в зависимости от загрузки автомобиля; ϕ – угол поворота рычага 8; X_1 – координата перемещения ступенчатого поршня; X_2 – координата перемещения толкателя 3

Компьютерный комплекс, обеспечивающий тестовое воздействие на аппараты пневматического тормозного привода, а также измерение и анализ измеряемых параметров. Он включает стационарный пневматический блок, электронный блок и компьютерный измерительный комплекс.

Пневматический блок решает следующие задачи стабильного тестового воздействия на аппараты ПТП.

1. Выполняет тестовое воздействие на объект контроля. В данном случае на РТС. В том числе подачу рабочего тела к испытуемому регулятору тормозных сил и к аппаратам комплекса, это тело потребляющим (*подающий контур*).

2. Обеспечивает прием рабочего тела на выходе исследуемого пневмоаппарата в процессе проведения испытаний *приемным контуром*, включающим позиции 19 и 20, а также датчик давления рабочего тела 11 (рис. 2).

Задачами электронного блока являются следующие процедуры.

1. Управление работой пневматического блока при помощи *электромагнитных пневматических клапанов* 9 (рис. 2).

2. Измерение параметров рабочих динамических процессов испытуемого РТС и преобразование их параметров в электрические сигналы (*блок преобразователей* 3, датчики давления 10 и 11, а также датчик 12, измеряющий угол отклонения рычага РТС от его начального положения).

3. Построение и анализ выходных фазовых динамических характеристик испытуемого пневмоаппарата (за счет совместного функционирования АЦП 2 с ЭВМ 1 и пакета прикладных программ).

Электронный блок комплекса включает две автономно работающие системы, управляющую и измерительную.

Измерительная система комплекса преобразует давление рабочего тела и угол поворота рычага 7 привода РТС (рис. 2) в аналоговые сигналы, получаемые от датчиков 10, 11 и 12, а затем преобразует их в блоке преобразователей аналоговых сигналов 3 и в АЦП 2 в цифровой сигнал, поступающий в ЭВМ 1.

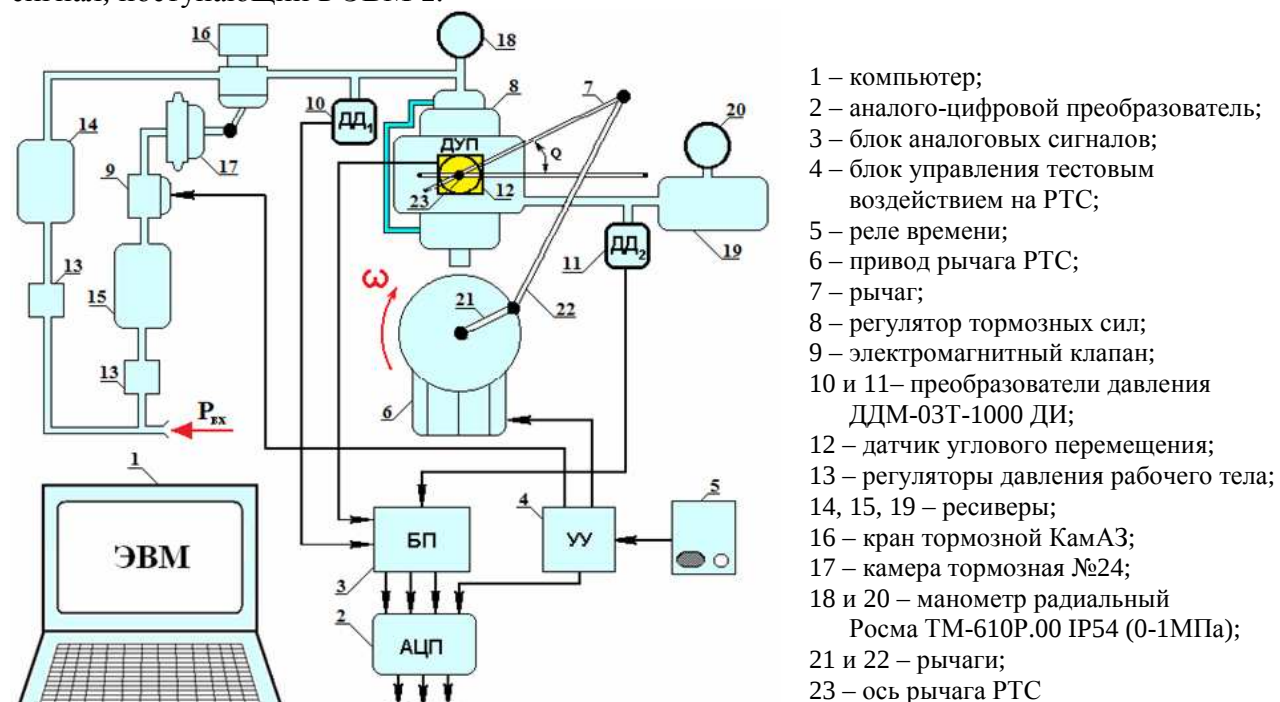


Рис. 2. Схема компьютерного комплекса для испытаний автомобильных регуляторов тормозных сил [12]

Управляющая система (рис. 3) управляет работой подающего контура комплекса (включающая позиции 9, 10, 13-16, 18), а также дает сигнал синхронизации запуска программного обеспечения в момент начала его работы. По сигналу синхронизации происходит запуск программы в ЭВМ. Старт процесса испытаний РТС обеспечивает реле времени. Включение реле времени обеспечивает управление работой электромагнитного клапана ЭМК в режиме динамического наполнения и опорожнения РТС сжатым воздухом, а также подает сигнал на старт АЦП.

Необходимо уточнить, что данная система также обеспечивает возможность задания на РТС и второго тестового режима испытаний посредством гармонических колебаний рычага РТС в пределах его рабочего диапазона углов поворота [4]. В этом режиме система обеспечивает вращение рычага РТС, этот тест обеспечивает электромеханический привод 6 (см. рис. 2). Этот привод позволяет получать характеристику РТС, имитируя движение автомобиля по неровной дороге. Но этот вид испытаний в данном исследовании не использовался, поскольку он не позволяет выявить быстроедействие срабатывания РТС при экстренном торможении.

Система измерения контролируемых в процессе испытаний РТС параметров включает два реохордных датчика давления 11 и 12 (рис. 2). Первый датчик ДД-1 преобразует давление рабочего тела на входе РТС в электрический сигнал. Второй датчик ДД-2 преобразует в электрический сигнал давление рабочего тела на выходе РТС. На оси 23 вала рычага привода РТС установлен датчик углового перемещения (ДУП), который измеряет угол поворота этого рычага.

Питание системы измерения контролируемых параметров производится постоянным током с напряжением 12 В от двух стабилизированных источников питания типа «Агат».

Датчики, обеспечивающие измерение давления рабочего тела на входе и выходе РТС, имеют диапазон измерения давления от 0 до 1 МПа.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует аналоговые сигналы систем измерительного комплекса стенда в цифровые коды, которые передаются в компьютер комплекса. В схеме комплекса применен АЦП типа «L-Card» L-154, имеющий 16 дифференциальных каналов или 32 канала с общей землей и полосой пропускания 370 кГц. Диапазон измеряемых сигналов на входе от 0 до 5,12 В, интегральная нелинейность преобразования – 0,8 МЗР. Дифференциальная нелинейность преобразования – 0,5 МЗР. Смещение нуля – 0,5 МЗР. Приведенная результирующая погрешность преобразования не превышает 0,1%.

В процессе испытаний РТС испытательный комплекс работает следующим образом. При включении реле времени электромагнитное реле подает на вход АЦП синхронизирующий сигнал (4,5 В), благодаря которому начинается запись в ЭВМ сигналов, поступающих с измерительных систем комплекса.

Одновременно подаётся напряжение (24 В) на электромагнитный клапан 9 (рис. 2), он открывается. Воздух давлением $P_{вх} = 0,75$ МПа от компрессора по линии (на рис. 2 не показан) от регуляторов давления 13 и ресиверов 14 и 15 через электромагнитный клапан 9 поступает в тормозную камеру 17. Одновременно сжатый воздух по линии регулятор давления 13 и ресивер 14 поступает на вход двухсекционного тормозного крана 16. Наполняемая сжатым воздухом тормозная камера 17 открывает тормозной кран 16 и сжатый воздух подаётся на вход испытуемого регулятора тормозных сил 8 и далее, в ресивер 19.

Давление P_1 на входе в РТС регистрируется датчиком 10, а на выходе P_2 – датчиком 11, а положение рычага управления РТС регистрируется датчиком 12. Сигналы датчиков 10, 11 и 12 поступают в АЦП измерительного комплекса, а затем в его компьютер, где подвергаются дальнейшей обработки на программном уровне.

При этом электромагнитный клапан 9 (рис. 2) закрывается, тормозная камера 17 опорожняется от рабочего тела, тормозной кран выпускает рабочее тело из приемного ресивера 19 через диагностируемый РТС.

В процессе экспериментальных исследований, вход РТС подключался к пневматическому блоку компьютерного диагностического комплекса, а его выход соединялся с приемным ресивером объемом $1,5 \cdot 10^{-3}$ м³.

В процессе эксперимента тестовое воздействие (давление рабочего тела P_1 на входе РТС) на пневмоаппарат изменялось непрерывно во всем его диапазоне от 0 до 0,75 МПа, обеспечивая режимы наполнения и опорожнения РТС и приемного ресивера рабочим телом при нейтральном положении рычага. Темп наполнения РТС рабочим телом в процессе эксперимента был задан на уровне 2,24 МПа/с, а темп опорожнения – 2,8 МПа/с.

В соответствие с вышеописанной методикой были получены экспериментальные зависимости давления на выходе и входе РТС от времени (см. рис. 3, а). Обработка результатов эксперимента в среде Microsoft Excel, позволила получить фазовые динамические характеристики (ФДХ). Фазовая динамическая характеристика РТС представлена на рис. 3, б).

В процессе исследований динамических характеристик РТС были следующие исходные параметры: $P_1 = 750000$ Па; $P_0 = 0$; $V_1 = 98 \cdot 10^{-7}$ м³; $V_n = 15 \cdot 10^{-4}$ м³; $D_{1н} = 5,2 \cdot 10^{-2}$ м; $D_{2н} = 4,2 \cdot 10^{-2}$ м; $D_{2вн} = 3,2 \cdot 10^{-2}$ м; $D_{кл} = 1,2 \cdot 10^{-2}$ м; $\delta_{нр1} = 6,0 \cdot 10^{-3}$ м; $m_1 = 9,1 \cdot 10^{-2}$ кг; $m_2 = 6,0 \cdot 10^{-2}$ кг; Константы наполнения и опорожнения РТС рабочим телом для клапана $D_{кл1}$: $k_{н1} = 1,89$ и $k_{о1} = 1,87$ и для клапана $D_{кл2}$: $k_{н2} = 1,86$ и $k_{о2} = 1,99$.

Обозначения параметров РТС приведены в соответствии с рисунком 1.

Анализ полученных результатов исследований, выполненный методом наложения ФДХ РТС, полученных в процессе изменения силы трения ступенчатого поршня $F_{тр1}$, показывает, что его ФДХ образуют две области локальных диагнозов D_1 и D_2 (см. рис. 4).

1. Область D_2 – связана с запаздыванием начала повышения выходного давления P_2 в режиме наполнения РТС и приемного ресивера. Она образуется наложением ФДХ в процессе увеличения силы трения ступенчатого поршня РТС.

2. Область D_1 (рис. 4) образуется в результате снижения выходного давления P_2 в режиме опорожнения РТС при наложении ФДХ в процессе увеличения силы трения ступенчатого поршня РТС.

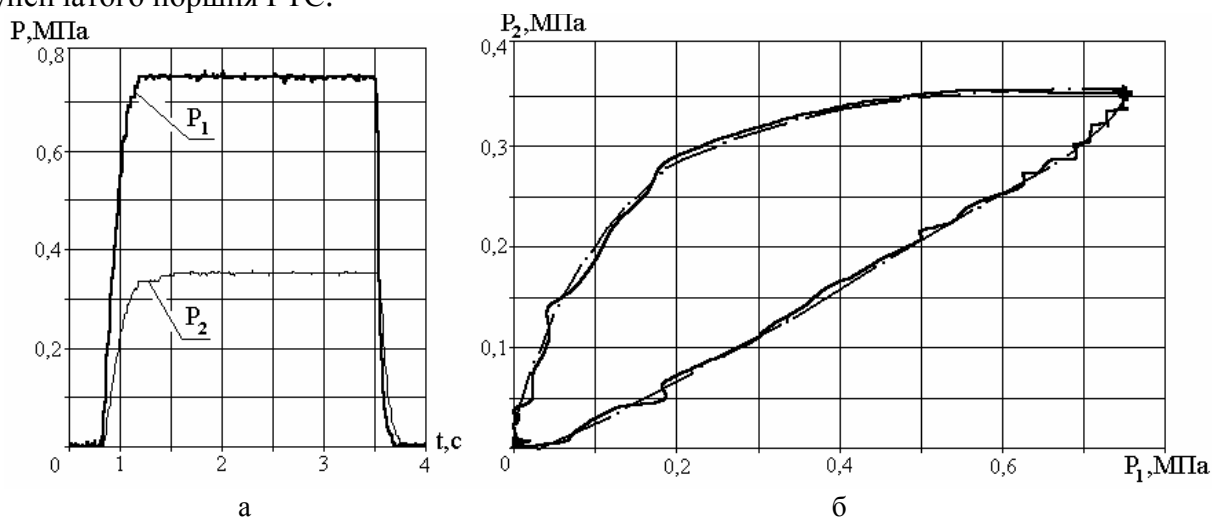


Рис. 3. Экспериментальные зависимости давления на входе и выходе РТС (при нейтральном положении рычага): а) в динамике от времени; б) фазовая динамическая характеристика РТС – $P_2 = f(P_1)$

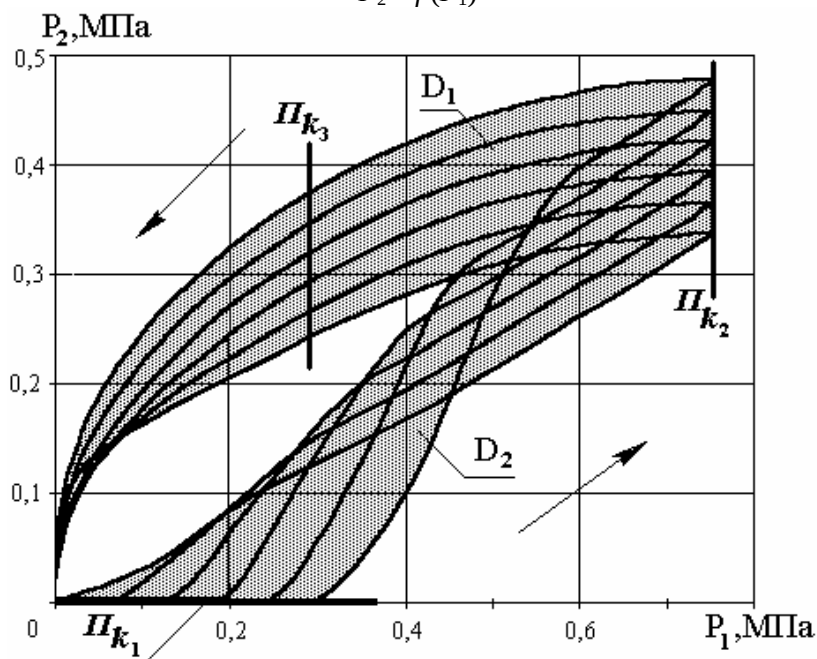


Рис. 4. Области локальных диагнозов образованные ФДХ РТС при изменении силы трения ступенчатого поршня

В процессе исследования также определяли *время наполнения* t_n и *время опорожнения* t_o РТС рабочим телом. С этой целью использовали динамические зависимости давления на выходе РТС от времени $P_2(t)$, представленные на рисунке 3, а. Это позволило установить еще два диагностических участка, характеризующих быстродействие РТС.

1. Участок I_t , характеризующий время повышения выходного давления P_2 от 0 до 0,75 P_{2max} – в процессе наполнения РТС рабочим телом.

2. Участок II_t характеризующий время снижения выходного давления P_2 от P_{2max} до 0,1 P_{2max} – в процессе выпуска рабочего тела.

В соответствии с предложенным в работе [1] методом наибольшего сечения были выявлены диагностические признаки участков в областях динамических характеристик РТС, наиболее чувствительных к изменениям параметров технического состояния.

1. Признак k_1 – значение входного давления P_1 , соответствующее началу повышения выходного давления P_2 , в режиме наполнения (секущая $Пк_1$, рис. 4).

2. Признак k_2 – значение максимального давления $P_{2\max}$ на выходе РТС при максимальном давлении на входе $P_1 = P_{1\max}$ (секущая $Пк_2$, рис. 4).

3. Признак k_3 – давление P_2 на выходе РТС при достижении величиной входного давления значения $P_1 = 0,28$ МПа, в режиме опорожнения (секущая $Пк_3$, рис. 4);

4. Признак k_4 – время процесса впуска рабочего тела от начала повышения входного управляющего давления P_1 до момента достижения выходным давлением P_2 75% уровня от его максимального значения (рис. 3).

5. Признак k_5 – время процесса выпуска рабочего тела от начала снижения входного управляющего давления P_1 до момента достижения выходным давлением P_2 10% уровня от своего максимального значения (рис. 3).

Диагностические признаки k_1 , k_2 и k_3 позволяют контролировать изменение ФДХ РТС в выявленных областях локальных диагнозов $D_1 - D_2$ (см. рис. 4). Диагностические признаки $k_4 - k_5$ позволяют оценивать быстродействие РТС.

Выявленные функциональные зависимости давления P_2 и времени наполнения аппарата рабочим телом, от параметра технического состояния РТС – силой F_{mp1} трения ступенчатого поршня (в режиме наполнения) на секущей $Пк_1$ (см. рис. 4) представлены полиномами третьей степени вида:

$$P_{1|k1} = -2 \cdot 10^{-10} \cdot (F_{mp1})^3 + 6 \cdot 10^{-7} \cdot (F_{mp1})^2 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot F_{mp1} + 0,024. \quad (1)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,999$.

$$t_n = 6 \cdot 10^{-10} \cdot (F_{mp1})^3 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot (F_{mp1})^2 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot F_{mp1} + 0,3044. \quad (2)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,982$.

Выявленная функциональная связь максимального давления $P_{2\max}$ рабочего тела от параметра технического состояния РТС – силой F_{mp1} трения ступенчатого поршня (в режиме наполнения) на секущей $Пк_2$ (см. рис. 4) представлена линейной зависимостью вида:

$$P_{2\max} = 1,24 \cdot 10^{-4} \cdot F_{mp1} + 0,3357. \quad (3)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,999$.

Также были выявлены функциональные зависимости давления P_2 и времени опорожнения аппарата от параметра технического состояния РТС – силой F_{mp1} трения ступенчатого поршня (в режиме опорожнения) на секущей $Пк_3$ (см. рис. 4).

Первая из них представлена линейной зависимостью вида:

$$P_2 = 0,001 F_{mp1} + 0,2424. \quad (4)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,997$.

Вторая зависимость представлена полиномом третьей степени вида:

$$t_o = -4 \cdot 10^{-10} \cdot (F_{mp1})^3 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot (F_{mp1})^2 - 0,003 \cdot F_{mp1} + 0,1918. \quad (5)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,998$.

В процессе контроля РТС с использованием выявленных зависимостей на основе компьютерного комплекса [1] на экране компьютера отображается его фазовая динамическая характеристика в виде зависимости давления рабочего тела на его выходе P_2 от давления на его входе P_1 при заданном положении рычага привода РТС (см. рис. 5).

Даже беглый анализ внешнего вида фазовых динамических характеристик РТС отчетливо показывает их высокую информативность с точки зрения оценки технического состояния и, как следствие, высокую эффективность данного метода испытаний.

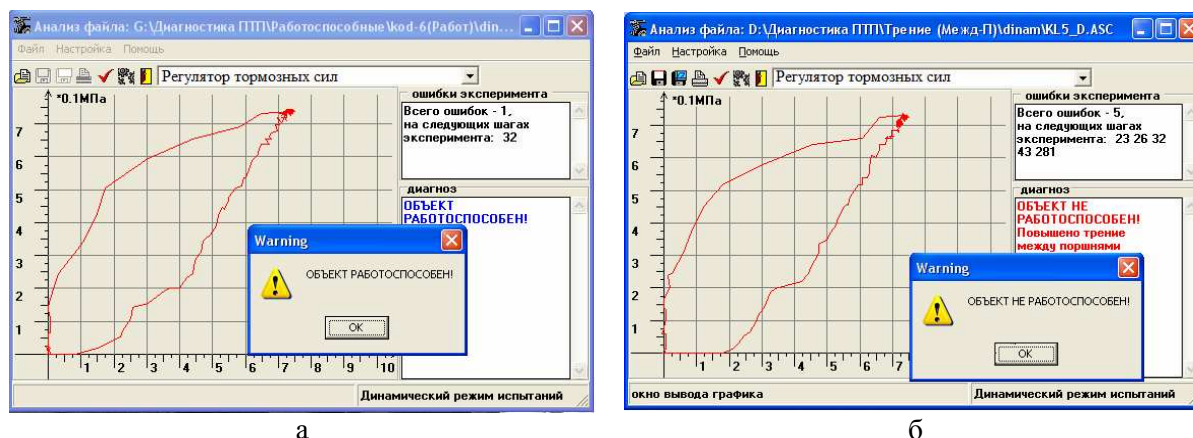


Рис. 5. Скриншоты экраны программы испытаний исправного (а) и неисправного (б) РТС с фазовой диаграммой их динамической характеристики

Выводы

В заключение следует отметить, что в процессе исследований выявлены наиболее распространенные причины, влияющие на быстродействие срабатывания РТС при экстренном торможении. Это повышение силы трения ступенчатого поршня, повышение момента трения оси рычага и изменение преднатяга пружины клапана.

Существующий статический метод испытаний РТС занимает от 6 до 9 минут. Следует отметить, что распространенный существующий статический метод контроля РТС еще и крайне мало информативен [1, 8].

Разработанная и реализуемая компьютерным комплексом [5, 7] методика испытаний РТС, основанная на выявленных функциональных зависимостях (1)-(5) и анализе фазовых динамических характеристик, показывает высокую информативность и очень высокую оперативность контроля регуляторов тормозных сил ПТП.

Разработанный метод позволяет очень оперативно и информативно выполнять входной и выходной контроль РТС, как сходящих с конвейера завода-изготовителя, так и поступающих из участка ремонта. При этом контролируются важнейшие параметры РТС, время его наполнения и опорожнения. Процесс испытаний одного РТС КамАЗ (*не установленного на автомобиль*) занимает не более 1,5-2 минут.

Дальнейшие исследования в данной области следует вести в направлении оценки влияния на быстродействие срабатывания РТС таких важных параметров, как повышение момента трения оси рычага и изменение преднатяга пружины клапана.

Список литературы

1. Федотов А.И. Динамический метод диагностики пневматического тормозного привода автомобилей: Монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. – 519 с.
2. Топалиди В.А. Повышение эффективности эксплуатационного контроля тормозных свойств систем АТС // Автомобильная промышленность. – 2008. – №3. – С. 25-27.
3. Федотов А.И. Диагностика пневматического тормозного привода автомобилей на основе компьютерных технологий: Дисс. ... докт. техн. наук. – Новосибирск, 1999. – 506 с.
4. Григорьев И.М. Динамический метод дифференциального диагностирования пневматических регуляторов тормозных сил автомобилей в условиях эксплуатации: Дисс. ... канд. техн. наук. – Оренбург, 2006. – 170 с.
5. Патент №2278362 РФ. Способ диагностирования и регулирования регуляторов тормозных сил автомобилей с пневматическим тормозным приводом и устройство для его осуществления / А.И. Федотов, И.М. Григорьев, А.Н. Доморозов, Д.В. Просяников. – Заявка №2005100110 от 11.01.2005; опубл. 15.01.2006, Бюл. №17.
6. Тихов-Тинников Д.А. Совершенствование динамического метода функционального диагностирования управляющих аппаратов пневматического тормозного привода автомобилей в условиях эксплуатации: Дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2001. – 217 с.
7. Патент №2139506 РФ. Способ диагностирования аппаратов пневматического тормозного привода и устройство для его осуществления / А.И. Федотов, А.А. Власов, С.М. Гергенов. – Заявка №97113326 от 31.07.1997; опубл. 10.10.1999.

8. Ярьсько П.С., Филиппов С.В. Тормозные системы большегрузных автомобилей КамАЗ. – Ярославль: Учебно-производственная фирма КамАЗ, 1989. – 124 с.
9. Федотов А. И., Григорьев И.М. Экспериментальные исследования динамического метода диагностирования автомобильных регуляторов тормозных сил // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2006. – № 3. – С. 6.
10. Малкин В.С., Епишкин В.Е. Уточненный метод диагностирования автомобилей по комплексу взаимосвязанных параметров // Автомобильная промышленность. – 2008. – №6. – С. 27-31.
11. Курлышев О.В., Потапов А.И. Алгоритмы диагностирования современных АТС // Автомобильная промышленность. – 2009. – №4. – С. 18-21.
12. Аппараты пневматического тормозного привода автотранспортных средств: руководство по эксплуатации 100-3500010 РЭ. – Рославль: Киновия, 2001. – 71 с.
13. Дубовик Е.А. Расчет стенда технической диагностики тормозной системы автомобиля КамАЗ // Автомобильная промышленность. – 2012. – №12. – С. 23-26.
14. Усова С.В. Диагностирование несущей способности гидроцилиндров дорожных и строительных машин // Автомобильная промышленность. – 2012. – №5. – С. 25-29.
15. Котиев Г.О., Гумеров И.Ф., Стадухин А.А., Косицын Б.Б. Определение механических характеристик узлов износостойкой тормозной системы высокоподвижных колесных машин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – №1(128). – С. 131-141.
16. Гулиев Н.Р.О., Никитин Д.А., Никитина Л.В., Ерюшев М.В., Чекмарев В.В., Кондаков К.С. Повышение надежности пневматической тормозной системы автомобиля с компрессорным нагнетанием воздуха // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 6. – С. 81-85.
17. Borodin A.L., Vasiliev V.I., Maltseva G.I. Mathematical diagnostic model of brake master cylinder of hydraulic brake system of automobile // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, vol. 1061, p. 012011. DOI: 10.1088/1757-899X/1061/1/012011.
18. Vasilyev V., Ovsyannikov V., Kovalev R. Optimization of vehicle diagnostic algorithms at equipment design stage // VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer, Cham. 2020, vol. 1115, pp. 677-684. doi.org/10.1007/978-3-030-37916-2_66.
19. Zhumabekov A., Bykadorov S., Abdrakhmanov M. Assessment of the structural reliability of the braking system affecting road safety // Труды университета. – 2021. – №3(84). – С. 184-190. – DOI: 10.52209/1609-1825_2021_3_184.
20. Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Нуждин Р.В. Оценка ресурса элементов тормозной системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-3(82). – С. 16-22.
21. Балон Л.В., Коропец П.А., Косаревский В.В. Математическая модель и методика исследования динамики рычажной тормозной системы установившихся режимах // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2009. – №3(35). – С. 15-22.
22. Исматов А.А., Абдурашидов И.Ж.У., Ёкубжонов С.Г. Анализ неисправностей тормозной системы автобусов Isuzu в процессе эксплуатации // Проблемы науки. – 2021. – №5(64). – С. 18-20.
23. Шкаленко А.И., Чернышев Д.О. Требования к техническому состоянию рабочей тормозной системы автомобилей // Техника и технология транспорта. – 2020. – №2(17). – С. 3.
24. Евграфов В.А., Шамуратов Д.Д. Технологический процесс диагностирования тормозной системы КамАЗ-65117 // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – №112-6. – С. 73-77.
25. Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Нуждин Р.В. Исследование влияния режимов работы тормозных механизмов на надежность элементов тормозной системы // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2022. – №1(59). – С. 23-28.
26. Колесников И.В., Харламов П.В. Организация мониторинга динамических процессов, протекающих в мобильных трибосистемах // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2012. – №1(165). – С. 98-104.

References

1. Fedotov A.I., Dynamic diagnostic method of pneumatic brake drive of cars: Monograph. – Irkutsk: Publ. house of IrSTU, 2015. – 519 p.
2. Topalidi V.A. Improving the efficiency of operational control of braking properties of PBX systems // Automotive industry. 2008, no. 3, pp. 25-27.
3. Fedotov A.I. Diagnostics of pneumatic brake drive of cars based on computer technologies: Diss. ... doct. of tech. sc. – Novosibirsk, 1999. – 506 p.
4. Grigoriev I.M. Dynamic method of differential diagnosis of pneumatic regulators of braking forces of cars under operating conditions: Diss. ... cand. of tech. sc. – Orenburg, 2006. – 170 p.
5. Patent No. 2278362 RU. Method for diagnosing and regulating the braking force regulators of cars with a pneumatic brake actuator and a device for its implementation / A.I. Fedotov, I.M. Grigoriev, A.N. Domorozov, D.V. Prosyaniykov. – App. No. 2005100110 from 11.01.2005; publ. 15.01.2006, Bul. No. 17.
6. Tikhov-Tinnikov D.A. Improvement of the dynamic method of functional diagnostics of control devices of the pneumatic brake drive of cars in operating conditions: Diss. ... cand. of tech. sc. – Novosibirsk, 2001. – 217 p.

7. Patent No. 2139506 RU. Method for diagnosing pneumatic brake drive devices and a device for its implementation / A.I. Fedotov, A.A. Vlasov, S.M. Gergenov. – Appl. No. 97113326 from 31.07.1997; publ. 10/10/1999.
8. Yaresko P.S., Filippov S.V. Braking systems of heavy-duty KamAZ vehicles. – Yaroslavl: KamAZ educational and production company, 1989. – 124 p.
9. Fedotov A.I., Grigoriev I.M. Experimental studies of a dynamic diagnostic method for automotive brake force regulators // Socio-economic and technical systems: research, design, optimization. 2006, no. 3, pp. 6.
10. Malkin V.S., Epishkin V.E. A refined method for diagnosing cars using a set of interrelated parameters // Automotive Industry. 2008, no. 6, pp. 27-31.
11. Kurlyshev O.V., Potapov A.I., Algorithms for diagnosing modern PBX systems // Automotive industry. 2009, no. 4, pp. 18-21.
12. Devices of pneumatic brake drive of motor vehicles: operation manual 100-3500010 RE. – Roslavl: Kinoviya, 2001. – 71 p.
13. Dubovik E.A. Calculation of the technical diagnostics stand of the KamAZ brake system // Automotive industry. 2012, no. 12, pp. 23-26.
14. Usova S.V. Diagnostics of the bearing capacity of hydraulic cylinders of road and construction machinery // Automotive industry. 2012, no. 5, pp. 25-29.
15. Kotiev G.O., Gumerov I.F., Stadukhin A.A., Kositsyn B.B. Determination of mechanical characteristics of components of the wear-resistant braking system of highly mobile wheeled vehicles // Proceedings of the R.E. Alekseev NSTU. 2020, no. 1(128), pp. 131-141.
16. Guliev N.R.O., Nikitin D.A., Nikitina L.V., Yeryushev M.V., Chekmarev V.V., Kondakov K.S. Improving the reliability of the pneumatic braking system of a car with compressor air injection // Agrarian Scientific Journal. 2020, no. 6, pp. 81-85.
17. Borodin A.L., Vasiliev V.I., Maltseva G.I. Mathematical diagnostic model of brake master cylinder of hydraulic brake system of automobile // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, vol. 1061, p. 012011. DOI: 10.1088/1757-899X/1061/1/012011.
18. Vasilyev V., Ovsyannikov V., Kovalev R. Optimization of vehicle diagnostic algorithms at equipment design stage // VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer, Cham. 2020, vol. 1115, pp. 677-684. doi.org/10.1007/978-3-030-37916-2_66.
19. Zhumabekov A., Bykadorov S., Abdrakhmanov M. Assessment of the structural reliability of the braking system affecting road safety // Proceedings of the University. 2021, no. 3(84), pp. 184-190.
20. Kokarev O.P., Kirillov A.G., Nuzhdin R.V. Evaluation of the resource of brake system elements // World of transport and technological machines. 2023, no. 3-3(82), pp. 16-22.
21. Balon L.V., Koropets P.A., Kosarevsky V.V. Mathematical model and methodology for studying the dynamics of a lever braking system in steady-state conditions // Bulletin of the Rostov State University of Railway Communications. 2009, no. 3(35), pp. 15-22.
22. Ismatov A.A., Abdurashidov I.Zh.U., Yekubzhonov S.G. Analysis of malfunctions of the Isuzu bus brake system during operation // Problems of Science. 2021, no. 5(64), pp. 18-20.
23. Shkalenko A.I., Chernyshev D.O. Requirements for the technical condition of the working braking system of cars // Machinery and technology of transport. 2020, no. 2(17), pp. 3.
24. Evgrafov V.A., Shamuratov D.D. The technological process of diagnosing the KamAZ-65117 brake system // Trends in the development of science and education. 2024, no. 112-6, pp. 73-77.
25. Kokarev O.P., Kirillov A.G., Nuzhdin R.V. Investigation of the effect of brake operating modes on the reliability of brake system elements // Technical and technological problems of the service. 2022, no. 1(59), pp. 23-28.
26. Kolesnikov I.V., Kharlamov P.V. Organization of monitoring of dynamic processes occurring in mobile tribosystems // News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical sciences. 2012, no. 1(165), pp. 98-104.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Федотов Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»	Fedotov Aleksandr Ivanovich – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of motor transport
Громалова Виктория Олеговна – кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт» gromalova@mail.ru	Gromalova Viktoriya Olegovna – candidate of technical sciences, lecturer at the Department of motor transport

Получена 30.01.2025