

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР**
**ХАРЬКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ
им. КОМСОМОЛА УКРАИНЫ**

На правах рукописи

ВОЛКОВ ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТОРМОЗОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ
РЕСУРСНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ**

(Специальность 05.05.03 – Автомобили и тракторы)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков – 1982

Вашему вниманию предлагаю
с интересом ознакомиться с
заключением
Работа выполнена на кафедре "Автомобили" Харьковского автомо-
бильно-дорожного института имени Комсомола Украины

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Гредескул А.Б.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Островцев А.Н.

кандидат технических наук, доцент

Варфоломеев В.Н.

Ведущее предприятие - ГосавтотрансНИИпроект, г. Киев

Защита состоится "6" МАЯ 1982 г. в 14⁰⁰
на заседании специализированного Совета К.068.12.01 по присуж-
дению ученой степени кандидата технических наук Харьковского
автомобильно-дорожного института имени Комсомола Украины по
адресу: 310078, г. Харьков, ул. Петровского, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "6" АПРЕЛЯ 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
к.т.н., доцент

Перегон В.А.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Создание эффективных, надежных и долговечных тормозных систем является неотъемлемой частью мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения. Это также способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению эффективности использования автомобилей.

Решение данной проблемы неразрывно связано с совершенствованием методов проведения ресурсных испытаний, сокращение продолжительности которых позволяет уменьшить время доводки опытных образцов тормозных систем автомобилей и внедрения их в производство.

Наиболее прогрессивными в настоящее время являются ресурсные испытания в лабораторных условиях, позволяющие выполнять поэтапную доводку узлов и агрегатов по мере их готовности как вновь создаваемых автомобилей, так и модернизируемых. В то же время необходимо отметить, что существующие методы воспроизведения нагрузочных режимов исследуемых элементов конструкции автомобиля при ресурсных лабораторных испытаниях не всегда отражают реальную совокупность эксплуатационных нагрузок.

Целью работы является совершенствование способов моделирования нагрузочных режимов работы тормозных систем легковых автомобилей при ресурсных лабораторных испытаниях.

Методикой исследования предусматривалось проведение эксплуатационных испытаний по изучению нагруженности тормозных систем легковых автомобилей в различных транспортных, дорожных и климатических условиях; разработка стохастических математических моделей, позволяющих при ресурсных лабораторных испытаниях имитировать эксплуатационные режимы работы тормозных

систем легковых автомобилей; проверка на ЭВМ и с помощью натурных испытаний приемлемости разработанных имитационных моделей для проведения ресурсных лабораторных испытаний.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые по разработанной методике выполнено исследование нагруженности тормозных систем легковых автомобилей в реальных условиях эксплуатации при различном сочетании транспортных, дорожных и климатических факторов; на основе обобщенных данных о нагрузочных режимах разработаны методики составления стохастических математических моделей, имитирующих эксплуатационные режимы работы как всей тормозной системы автомобиля, так и тормозного привода при ресурсных испытаниях на стендах с автоматизированными системами управления; разработана математическая модель, имитирующая режимы работы тормозной системы автомобиля, которая позволяет осуществить при ресурсных лабораторных испытаниях многопараметрическое нагружение по вероятностным законам распределения нагрузок, зафиксированных в реальных условиях эксплуатации; разработана и реализована путем программированных испытаний стохастическая математическая модель, имитирующая эксплуатационные режимы работы тормозного привода легкового автомобиля, позволяющая определять долговечность его узлов при ресурсных лабораторных испытаниях.

Объектом исследования являлись тормозные системы легковых автомобилей среднего класса.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Результаты обширных экспериментальных исследований нагруженности тормозных систем легковых автомобилей среднего класса позволяют обосновывать наиболее вероятные режимы работы тормозов легковых автомобилей других моделей, эксплуатируемых на городских дорогах в насыщенных транспорт-

ных потоках.

Разработанные в диссертации методики позволяют составлять математические модели, имитирующие режимы работы тормозных систем легковых автомобилей при ресурсных лабораторных испытаниях.

При непосредственном участии автора отделом легковых автомобилей управления конструкторско-экспериментальных работ Горьковского автомобильного завода внедрены результаты исследования нагруженности тормозных систем легковых автомобилей в реальных условиях эксплуатации; разработанные методики составления имитационных моделей и математические модели, позволяющие при ресурсных испытаниях на стендах с автоматизированными системами управления имитировать реальную нагруженность как всей тормозной системы автомобиля в сборе, так и ее отдельных узлов.

Работа выполнялась по планам хоздоговорных и госбюджетных НИР кафедры "Автомобили" ХАДИ.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции (г. Ташкент, 1978 г.), на заседании бюро тормозов УКЭР ГАЗ (1977... 1981 г.г.), на ежегодных научно-технических конференциях ХАДИ (1977... 1981 г.г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 9 статей и разработано при участии автора 2 научно-технических отчета.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, приложения и содержит 169 страниц машинописного текста включая 19 таблиц, 33 рисунка. Список литературы включает 122 источника на русском и 16 на иностранных языках.

Содержание работы

В первой главе выполнен обзор исследований, посвященных изучению нагруженности тормозных систем автомобилей в различных условиях эксплуатации, способам ресурсных испытаний элементов конструкции автомобиля и отдельных узлов тормозных систем, моделированию нагрузочных режимов работы элементов конструкции автомобилей при ресурсных лабораторных испытаниях и сформулированы основные задачи исследования.

Необходимым условием создания автомобилей с оптимальной надежностью и долговечностью Островцев А.Н. считает глубокое, всестороннее изучение режимов работы элементов конструкции автомобиля и влияния на них всего многообразия условий эксплуатации. Это важное условие лежит в основе всех этапов изготовления автомобиля и его узлов: расчета, конструирования, испытаний и доводки.

Вопросам изучения процессов торможения, режимов работы, эксплуатационной надежности и энергонагруженности тормозных систем, ее отдельных элементов посвящены работы Бухарина Н.А., Генбома Б.Б., Гредескула А.Б., Гуревича Л.В., Максапетяна Г.В., Метлыка Н.Ф., Меламуда Р.А., Разумова А.Б., Алексеенко В.Н., Newcomb T.A., Livsey A.E. и др. отечественных и зарубежных ученых.

Несмотря на единый, в общем случае, подход к изучению нагрузочных режимов тормозных систем автомобилей, довольно трудно систематизировать и использовать результаты, полученные отдельными авторами. Кроме того необходимо отметить, что основная часть исследований выполнена применительно к грузовым автомобилям и автобусам, и в меньшей степени – к легковым автомобилям.

Обзор результатов научных исследований по изучению влияния эксплуатационных факторов на нагруженность тормозной системы лег-

ковых автомобилей позволил выделить те основные факторы, воздействие которых на режимы торможения исследованы недостаточно. К ним можно отнести район проведения испытаний, условия проведения испытаний, состояние поверхности дорожного покрытия в различные периоды времени года, квалификация водителя и его индивидуальные особенности.

В настоящее время быстрым, экономичным способом проверки надежности и долговечности узлов тормозной системы является лабораторный, при котором по специальной программе, составленной на основе результатов изучения нагрузочных режимов в условиях эксплуатации, имитируется реальная работа тормозной системы автомобиля. Некоторые положения по составлению нагрузочных программ для ресурсных испытаний узлов тормозных систем грузовых автомобилей отражены в работах Алексеенко В.Н.

Проблема определения долговечности испытуемых элементов конструкции автомобиля в лабораторных условиях может быть решена путем имитационного моделирования их эксплуатационных режимов работы на стендах с автоматизированными системами управления. Для воспроизведения сложных эксплуатационных процессов используется стохастическое имитационное моделирование, в основе которого лежат вероятностные законы распределения нагрузок, зафиксированных в условиях реальной эксплуатации. Ряд вопросов, связанных с разработкой алгоритмов, моделирующих случайные процессы нагружения узлов, агрегатов автомобилей по заданным статистическим характеристикам и созданием систем управления испытательными стендаами рассмотрен Садековым Р.Х.

Анализ работ по моделированию нагрузочных режимов при ресурсных лабораторных испытаниях показал, что применительно к испытаниям тормозных систем автомобилей отсутствуют как методики созда-

ния математических моделей, позволяющих имитировать их реальную нагруженность, так и типовые алгоритмы моделей.

На основании выполненного обзора и анализа имеющихся работ были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Разработать методику и выполнить исследование режимов работы тормозных систем легковых автомобилей в условиях реальной эксплуатации с учетом влияния различного сочетания транспортных, дорожных и климатических факторов.

2. На основе обобщенных результатов экспериментального исследования разработать методики составления имитационных моделей и математические модели, позволяющие имитировать эксплуатационные режимы работы тормозных систем легковых автомобилей и их отдельных узлов при ресурсных испытаниях на стендах с автоматизированными системами управления.

3. Исследовать на ЭВМ пригодность разработанных математических моделей для имитации эксплуатационных режимов работы тормозных систем легковых автомобилей.

4. В лабораторных условиях проверить приемлемость разработанных имитационных моделей для определения долговечности узлов тормозных систем легковых автомобилей.

Во второй главе представлена методика проведения, обработки и обобщения результатов испытаний, разработка режимометрической аппаратуры, проведено экспериментальное исследование и выполнен анализ влияния эксплуатационных факторов на нагруженность тормозных систем легковых автомобилей.

В качестве объекта наблюдения выбраны легковые автомобили среднего класса производства Горьковского автомобильного завода, эксплуатируемые в качестве такси. Эксплуатационные испытания проводились в типичных городских условиях (г.Харьков, АТП-20102) во

все характерные периоды времени года (летний, осенний, зимний, весенний), а также в летний период года в горном районе (г.Ялта, Крымской области, АТП-20112). К испытаниям привлекались 16 водителей, работающих на 10 автомобилях, имеющих различную квалификацию и стаж работы на автомобилях вообще и на автомобилях-такси в частности. Из них 8 водителей привлекались на протяжении всех испытаний, проводившихся в равнинном районе, и 8 водителей в период летних испытаний, проводившихся в горном районе. Выезд на работу автомобилей, участвующих в испытаниях, осуществлялся по составленному графику, что позволило получить информацию об интенсивности работы тормозной системы автомобилей в различное время суток.

В данном исследовании выбранные автомобили-такси находились в обычных условиях эксплуатации, поэтому нагруженность тормозных систем оценивалась по: давлению тормозной жидкости в приводе (P_n), скорости автомобиля в начале (V_n) и скорости в конце (V_k) торможения, времени торможения (T_t), времени между торможениями (T_{mt}), количеству торможений на 1 км пробега (Z).

Для регистрации перечисленных показателей автором был разработан и изготовлен комплект режимометрической аппаратуры, включающий: регистрирующий прибор, датчики скорости, давления, времени торможения, количества торможений. Питание приборов и датчиков осуществлялось от бортовой сети автомобиля, продолжительность непрерывной записи на бумажную ленту составляла 16 часов, масса всего комплекта - 10 кг. Установка и отладка комплекта на автомобиле выполнялась одним человеком за 0,5 часа, а включение режимометрической аппаратуры в работу осуществлялось автоматически при начале движения автомобиля.

Учитывая то обстоятельство, что автомобили-такси при работе в городских условиях не имеют определенного маршрута, необходимая

продолжительность регистрации выбранных показателей при конкретном состоянии дорожной поверхности определялось по методике, рекомендованной Бухариным Н.А.

Для статистической обработки полученных массивов результатов наблюдений с помощью ЭВМ, разработан алгоритм аппроксимации эмпирических рядов следующими теоретическими законами распределения: нормальным, Грама-Шарлье, гамма-распределением, Вейбулла, экспоненциальным.

В данном исследовании оценка влияния транспортных, дорожных и климатических факторов на нагруженность тормозной системы автомобиля выполнялась путем сопоставления и анализа экспериментальных данных, полученных в реальных условиях эксплуатации.

Обобщенные теоретические кривые распределения плотности вероятности регистрируемых показателей представлены на рис. I, а их аналитические выражения в табл. I. Наиболее напряженным периодом работы тормозной системы легковых автомобилей в равнинном районе является летний, которому присуща максимальная интенсивность дорожного движения при хорошем состоянии поверхности дорожного покрытия (табл. 2 и табл. 3). В осенне-зимний период в связи с ухудшением состояния поверхности дорожного покрытия и уменьшением интенсивности дорожного движения нагруженность тормозной системы понижается, а в весенний период регистрируемые показатели близки к результатам летнего периода. При хорошем состоянии поверхности дорожного покрытия (коэффициент сцепления колес с дорогой $\varphi = 0,6 \dots 0,7$) наблюдалось блокирование ведущих колес автомобиля при $P_n = 3,5 \dots 4,0$ МПа (в автомобиле находился один водитель). Необходимо отметить, что все водители независимо от стажа работы и квалификации, крайне редко используют торможения с давлением в приводе $P_n > 4,0$ МПа. Они составляют примерно 1,5...2% от общего количества тормо-

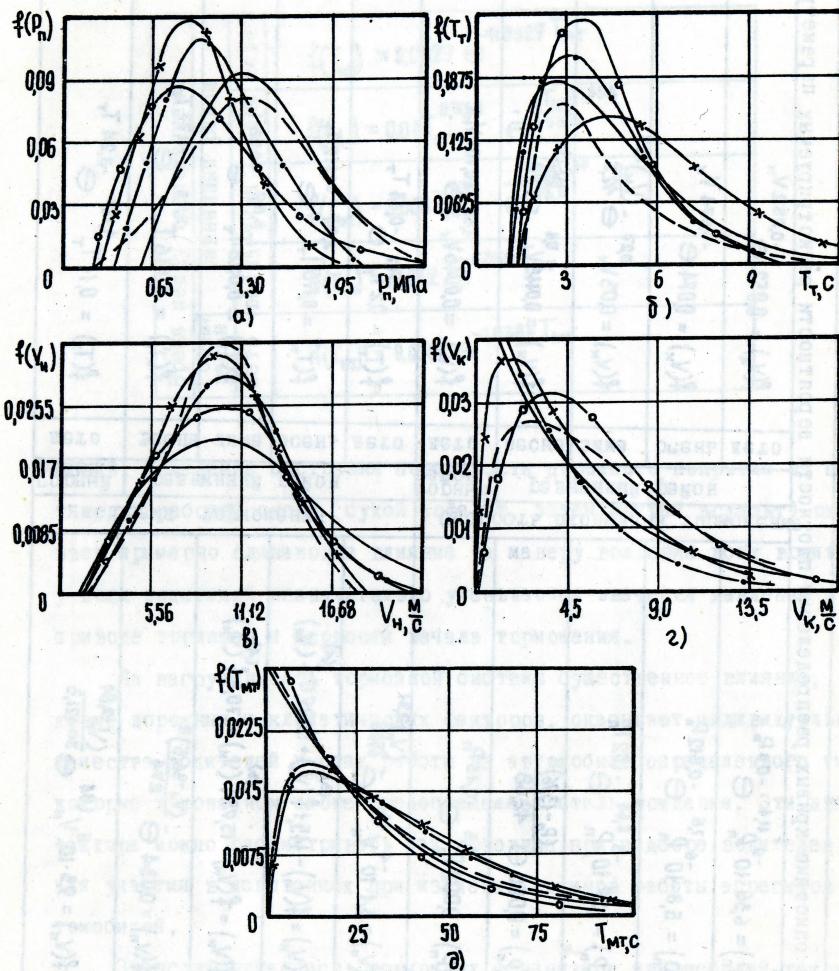


Рис. I. Кривые распределения плотности вероятности давления в приводе (а), времени торможения (б), скорости начала (в) и скорости окончания (г) торможения, времени между торможениями (д), — летний, — осенний, —×— зимний, —— весенний, —○— летний (горный район) периоды года

Таблица I

Аналитическое описание кривых распределения плотности вероятности регистрируемых параметров					
Гидравлическое и динамическое торможение					
$f(p_n) = 6,36 \cdot 10^{-9} p_n^{4,1} e^{-0,9 p_n}$					$f(v_k) = 0,052 e^{-0,052 v_k}$
$f(p_n) = 5,8 \cdot 10^{-6} p_n^{1,6} e^{-0,842 p_n}$					$f(v_k) = 0,074 e^{-0,074 v_k}$
$f(p_n) = 1,29 \cdot 10^{-5} p_n^{6,4} e^{-1,02 p_n}$					$f(v_k) = 0,03 v_k^{0,27} e^{-(V_k)^{1,27} / 42,5}$
$f(p_n) = 0,086 e^{(p_n - 15,6)^2 / 42,68}$					$f(v_k) = 0,044 v_k^{0,4} e^{-v_k^{1,4} / 98}$
$f(p_n) = 0,0022 p_n^{3,6} e^{-0,45 p_n}$					$f(v_k) = 0,0046 v_k^{1,33} e^{-0,107 v_k}$
					$f(\tau) = 0,2 \tau^{1,3} e^{-0,64 \tau}$
					$f(\tau) = 0,576 \tau^{2,94} e^{-1,012 \tau}$
					$f(\tau) = 0,028 \tau^{3,89} e^{-0,86 \tau}$
					$f(\tau) = 0,046 \tau^{3,33} e^{-0,77 \tau}$
					$f(\tau) = 0,11 \tau^{4,2} e^{-1,24 \tau}$

II

Продолжение таблицы I

Время между торможениями	$f(T_{MT}) = 0,0327 e^{-0,0327 T_{MT}}$
горный район	$f(T_{MT}) = 0,01 T_{MT}^{0,334} e^{-(T_{MT})^{1,334} / 133,3}$
равнинный район	$f(T_{MT}) = 0,008 T_{MT}^{0,37} e^{-(T_{MT})^{1,37} / 133,5}$
лесной	$f(T_{MT}) = 0,032 e^{-0,032 T_{MT}}$
зимой	$f(T_{MT}) = 0,0387 e^{-0,0387 T_{MT}}$
осенью	
летом	

жений. Изменение состояния поверхности дорожного покрытия на протяжении рабочей смены (сухой асфальт, затем мокрый асфальт) оказывает примерно одинаковое влияние на манеру вождения всех водителей — у всех водителей незначительно уменьшаются значения давления в приводе тормозов и скорости начала торможения.

На нагруженность тормозной системы существенное влияние, кроме дорожных и климатических факторов, оказывают индивидуальные качества водителей и стаж работы на автомобиле определенного типа, которые в конечном итоге предопределяют стиль вождения. Эти два фактора можно рассматривать как основные при подборе водителей для участия в испытаниях при изучении режимов работы агрегатов автомобилей.

Энергонаружность тормозных механизмов автомобилей-такси в выбранных районах в летний период при одном типичном торможении отличается почти в два раза, однако суммарная энергонаружность, за счет более высокой частоты торможений в горном районе (табл.3),

Таблица 2

Обобщенные результаты измерения показателей нагруженности тормозной системы легковых автомобилей

Параметры давления	Равнинный район				Горный район			
	давление в приводе, МПа	скорость в начале торможения, м/с	скорость в конце торможения, м/с	время торможения, с	давление в приводе, МПа	скорость в начале торможения, м/с	скорость в конце торможения, м/с	время торможения, с
1	2	3	4	1	2	3	4	
минимальное значение	0,543 0,22	0,266 0,23	0,99 1,74	2,06 0	1,83 0	1,94 0	0 0	
максимальное значение	2,92 2,65	2,76 2,1	2,76 2,4, 0,5	21,5 18,4	18,52 18,13	18,61 15,83	15,22 16,0	
среднее значение	1,38 1,01	1,078 0,93	1,373 10,68	10,28 10,15	9,6 6,17	3,78 3,61	4,47 4,36	
среднеквадратичное отклонение	0,4 0,494	0,364 0,306	0,46 4,06	3,7 3,2	4,08 0,88	3,59 0,66	2,85 2,85	
коэффициент вариации	0,29 0,49	0,34 0,33	0,33 0,4	0,45 0,36	0,32 0,32	0,32 0,93	0,78 0,805	
зона типичных случаев	1,15- 1,65 0,94- 1,07	0,912- 1,305 1,309 1,07	0,716- 1,02 1,646 1,083	13,83- 11,9 9,16- 10,83	9,22- 12,36 5,44- 6,69	8,44- 5,1 6,03- 6,69	3,37- 5,63 4,08- 4,81	

1—летний, 2—осенний, 3—зимний, 4—весенний периоды года. Под чёртой результаты испытаний в горном районе.

13

Таблица 3

Минимальное значение	Количество торможений на 1 км пробега				
	равнинный район		горный район		
	лето	осень	зима	весна	лето
Максимальное значение	2,76	2,46	2,28	2,82	2,93
Среднее значение	4,90	3,25	3,32	3,90	5,63
Среднее квадратическое отклонение	3,59	2,86	2,70	3,39	4,00
Коэффициент вариации	0,68	0,29	0,44	0,35	0,87

примерно одинакова.

Выполненное исследование нагруженности тормозных систем легковых автомобилей показало, что на всевозможных городских маршрутах распределение основных параметров, характеризующих режимы работы тормозов, мало отличаются между собой. Предполагая, что в городских условиях легковые автомобили, составляющие значительную долю всего автомобильного транспорта, эксплуатируются в насыщенных транспортных потоках, и что их динамические качества в последнее время выравниваются, можно сделать заключение, что режимы работы легковых автомобилей в условиях интенсивного городского движения примерно равны. Следовательно, полученные результаты могут быть использованы для обоснования наиболее вероятных режимов работы тормозных систем легковых автомобилей разных классов и моделей.

В третьей главе разработаны методики составления имитационных моделей и математические модели, позволяющие при ресурсных испытаниях имитировать нагрузочные режимы как всей тор-

мозной системы автомобиля в сборе, так и отдельных узлов на стенах с автоматизированными системами управления (АСУ); разработанные имитационные модели реализованы на ЭВМ; изготовлена испытательная установка и проведены ресурсные испытания, подтверждающие приемлемость разработанных моделей для определения долговечности узлов тормозных систем легковых автомобилей.

Продолжительные испытания тормозов автомобилей в лабораторных условиях при режимах работы, соответствующих эксплуатационным, позволяют рассматривать их как один из наиболее надежных методов определения долговечности узлов тормозной системы.

Разработка математической модели, имитирующей эксплуатационные режимы работы тормозной системы сводилась к получению численного процесса случайного выбора величин P_n , V_h , V_k , T_t , T_{mt} , из совокупности обобщенных вероятностных кривых распределений, полученных на основе эксплуатационных испытаний. Разработка такой модели включала: получение последовательности равномерно распределенных в интервале $[0,1]$ случайных чисел ζ_i ; формирование их в заданные законы распределения параметров, определяющих работу тормозов; организация очередности и взаимосвязи между выработанными параметрами; реализация разработанной модели на ЭВМ или на испытательном стенде. Модель, имитирующая реальные режимы нагрузления тормозной системы автомобиля в сборе разработана на примере результатов экспериментальных исследований выполненных в летний период в равнинном районе (табл. I). При разработке модели предполагалось, что при ресурсных испытаниях автомобиль или только тормозная система находится на стенде с АСУ, в составе которой имеется управляющая ЭВМ.

Генерируемые с помощью специального алгоритма ζ_i формировалась: для V_h – по распределению Вейбулла, для T_t – по гамма-

распределению, для T_{mt} – по экспоненциальному распределению.

Скорость окончания торможения определялась по корреляционному уравнению, отражающему ее взаимосвязь с параметром V_h . Для формирования исходных законов распределения использовался метод обратного преобразования кумулятивной функции, описанный в работах Бусленко Н.П., Полляка Ю.Г.

Скорость начала торможения с заданной плотностью вероятности распределения формировалась по формуле:

$$V_{hz} = (-7299,3 \ln(\zeta_i))^{0,433}, \quad \zeta_i \in [0,1]. \quad (1)$$

Скорость окончания торможения определялась по уравнению:

$$V_{kz} = 1,049 + 0,194 V_{hz} - 0,00094 V_{hz}^2 - 0,00099 V_{hz}^3. \quad (2)$$

Предварительно определялся коэффициент корреляции между V_k и V_h , который в данном случае равен 0,694.

Интенсивность торможения задавалась обобщенным показателем – замедлением автомобиля J_{tz} , которое определялось по формуле:

$$J_{tz} = \frac{V_{hz} - V_{kz}}{T_{tz}}. \quad (3)$$

При этом принято допущение, что в процессе торможения автомобиля замедление остается постоянным.

Формирование T_t в искомый закон распределения осуществлялось по формуле:

$$T_{tz} = -1,56 \ln(\zeta_i). \quad (4)$$

Подставляя полученное случайным образом значение T_{tz} в (3), получаем искомое значение J_{tz} .

Время между торможениями определялось по выражению:

$$T_{mtz} = -30,6 \ln(\zeta_i). \quad (5)$$

Полученные формулы (1), (2), (3), (4) и (5) позволили разработать модель, блок-схема которой представлена на рис. 2.

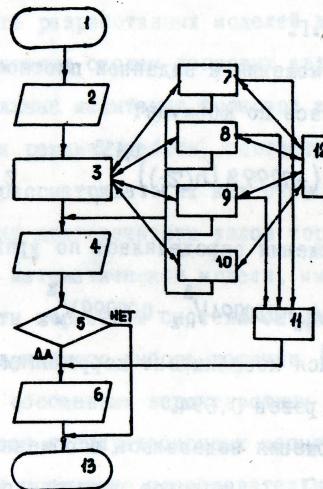


Рис. 2. Блок-схема алгоритма модели, имитирующей нагружочные режимы тормозной системы автомобиля в сборе на ЭВМ: I-начало; 2-ввод исходных данных; 3-блок-расчета статистик и кривых распределения $f(V_{n2}, V_{k2}, T_{tz}, T_{mtz})$; 4-вывод на печать $f(V_{n2}, V_{k2}, T_{tz}, T_{mtz})$ и статистик распределения; 5-блок сравнения $f(\bar{X}_2) \cdot f^*(\bar{X}_2)$; 6-вывод на печать χ^2, J_{tz} ; 7, 8, 9, 10-соответственно блоки расчета $V_{n2}, V_{k2}, T_{tz}, T_{mtz}$; II-блок расчета; 12-блок выработки случайных чисел \bar{Z}_i ; 13-конец.

Результаты реализации математической модели, имитирующей нагружочные режимы работы тормозной системы автомобиля в сборе на ЭВМ ЕС-1022 представлены в виде кривых распределения плотности вероятности параметров $V_{n2}, V_{k2}, T_{tz}, T_{mtz}$ (рис. 3), а также их математические ожидания \bar{X}_2 . На этом же рисунке для сравнения представлены кривые распределения плотности вероятности этих же пара-

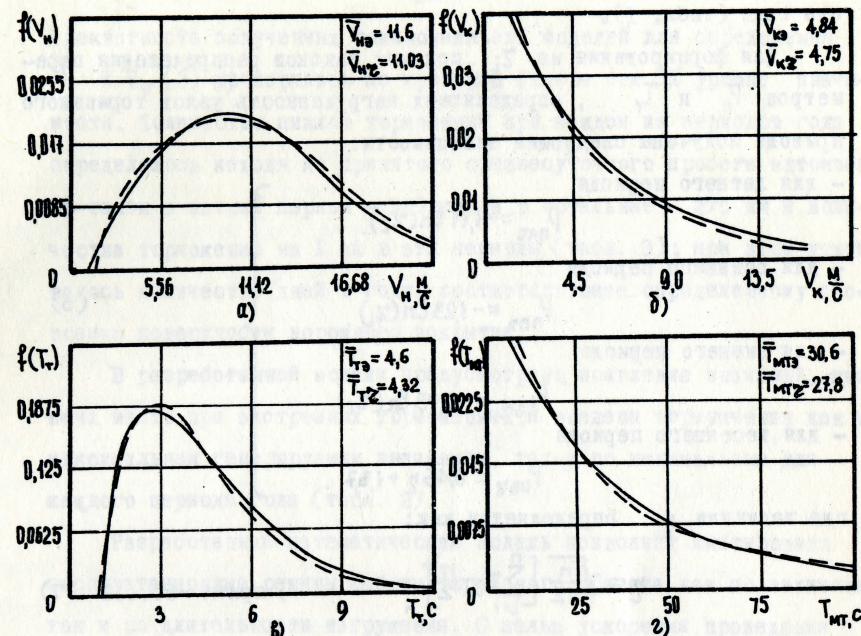


Рис. 3. Кривые распределения плотности вероятности начала (а) и скорости окончания (б) торможения, времени торможения (в) и времени между торможениями (г): — экспериментальная; - - - полученная с помощью модели

метров и математические ожидания \bar{X}_2 , но полученные при экспериментальном исследовании.

При разработке новых конструкций тормозных систем автомобилей или модернизации их отдельных узлов довольно часто доводочные испытания выполняют поэлементно, не дожидаясь комплектования всей тормозной системы. Исходя из этого, разработана модель, позволяющая имитировать эксплуатационные режимы работы как всего тормозного привода, так и его отдельных узлов. При разработке модели использованы аналитические выражения плотности вероятности давления в тормозном приводе и времени торможения, полученные во все пери-

оды года (табл. I).

Для формирования из Z_i искомых законов распределения параметров P_n и T_t , определяющих нагруженность узлов тормозного привода получены следующие зависимости:

- для летнего периода

$$P_{n\lambda z} = -1,14 \ln(z_i)$$

- для осеннего периода

$$P_{n\omega z} = -1,23 \ln(z_i)$$

- для зимнего периода

$$P_{n\beta z} = -0,98 \ln(z_i)$$

- для весеннего периода

$$P_{n\gamma z} = 0,46 \gamma + 1,37$$

где величина γ определяется как:

$$\gamma = \sqrt{\frac{n}{12}} \left[\sum_{i=1}^n z_i - \frac{n}{2} \right], \quad \text{при } n = 6 \dots 12 \quad (7)$$

Время торможения определялось через параметр P_n . Предварительно определялся коэффициент корреляции между T_t и P_n , значения которого для летнего, осеннего, зимнего, весеннего периодов года соответственно составляли: 0,526; 0,45; 0,36; 0,39. При моделировании параметра T_t время нарастания давления и время растормаживания принималось равным 0. Тогда значения T_t для каждого из периодов времени года определялись:

- для летнего периода

$$T_{t\lambda z} = 1,05 + 0,332 P_{n\lambda z} + 0,00018 P_{n\lambda z}^2 - 0,00044 P_{n\lambda z}^3$$

- для осеннего периода

$$T_{t\omega z} = 1,99 + 0,248 P_{n\omega z} + 0,000035 P_{n\omega z}^2 - 0,00065 P_{n\omega z}^3$$

- для зимнего периода

$$T_{t\beta z} = 0,394 + 0,667 P_{n\beta z} + 0,00096 P_{n\beta z}^2 - 0,00182 P_{n\beta z}^3$$

- для весеннего периода

$$T_{t\gamma z} = 3,54 + 0,095 P_{n\gamma z} + 0,00081 P_{n\gamma z}^2 - 0,00045 P_{n\gamma z}^3$$

Адекватность полученных полиномиальных моделей для определения T_t и V_k (2) проверялась по критерию Фишера при 5% уровне значимости. Количество циклов торможения при каждом из периодов года определялось исходя из принятого среднесуточного пробега автомобиля-такси в летний период - 325 км, а в остальные - 275 км и количества торможений на 1 км в эти периоды (табл. 3); при этом учитывалось количество дней в году, соответствующее определенному состоянию поверхности дорожного покрытия.

В разработанной модели предусмотрено появление значений, имеющих место при экстренных торможениях, и введены ограничения как по максимальным генерируемым значениям, так и по минимальным для каждого периода года (табл. 2).

Разработанная математическая модель позволяет имитировать эксплуатационные режимы работы тормозного привода как по величине, так и по длительности нагружения. С целью ускорения проведения испытаний узлов тормозного привода, время выдержки нагружения при разных значениях давления, в данной модели, можно сделать минимальным. Кроме того можно форсировать нагрузочные режимы, увеличивая генерируемые значения $P_{n\gamma z}$ на выбранный коэффициент форсирования.

На рис. 4 представлена блок-схема реализации на ЭВМ модели, имитирующей параметры P_n и T_t , задающих работу тормозному приводу во все периоды года.

Проверка приемлемости имитационных моделей выполнена на примере ресурсных испытаний узлов тормозного привода автомобиля ГАЗ-24. Для этого разработана и изготовлена специальная испытательная установка, включающая: источник сжатого воздуха, источник разрежения, программатор, управляющий работой установки и тормозного привода, собранного на объемной сварной раме. При испытаниях

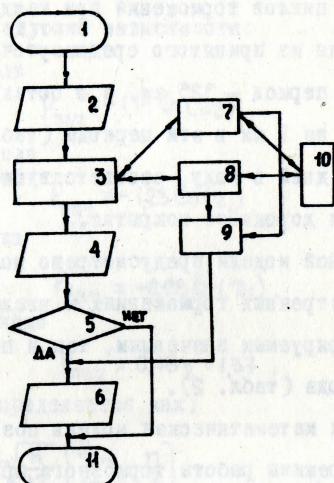


Рис. 4. Блок-схема алгоритма модели, имитирующей режимы нагружения тормозного привода на ЭВМ: I-начало; 2-ввод исходных данных; 3-блок расчета статистик и кривых распределения $f(P_{n12}, P_{n02}, P_{n32}, P_{n52})$; 4-вывод на печать $f(P_{n12}, P_{n02}, P_{n32}, P_{n52})$ и статистик распределения; 5-блок сравнения $f(x_2)$ с $f(x)$; 6-вывод на печать; 7,8-соответственно блоки расчета $P_{n12}, P_{n02}, P_{n32}, P_{n52}$; 9-блок расчета $T_{n12}, T_{n02}, T_{n32}, T_{n52}$; 10-блок выработки случайных чисел; II-конец.

имитация нагрузочных режимов работы тормозного привода осуществлялась по 6 вариантам:

- имитация эксплуатационных нагрузок по величине и длительности нагружения;
- имитация эксплуатационных нагрузок по величине с кратковременной выдержкой времени нагружения;

- имитация форсированных нагрузок по величине с эксплуатационной выдержкой времени нагружения;
- имитация форсированных нагрузок по величине с кратковременной выдержкой времени нагружения;
- имитация наиболее вероятных эксплуатационных нагрузок с кратковременной выдержкой нагружения;
- имитация нагрузки равной 5,0 МПа с кратковременной выдержкой времени нагружения.

Пригодность того или иного способа имитации нагрузочных режимов для определения долговечности узлов тормозного привода определялась в основном по ресурсу колесных цилиндров, имеющих около 80% отказов в условиях эксплуатации от общего количества неисправностей тормозной системы автомобиля. Нагружение при каждом цикле испытаний осуществлялось до тех пор, пока все цилиндры достигали предельного состояния.

Первый способ имитации дал результаты близкие к эксплуатационным по пробегу. Из 6 колесных цилиндров только один отказал раньше, чем это имеет место в эксплуатации. Отказы вызывались износом уплотнительных манжет, характер которых в отдельных случаях был различен, но соответствовал разрушениям, имеющим место в реальных условиях эксплуатации.

При имитации эксплуатационных нагрузок по величине с кратковременной выдержкой характер отказов колесных цилиндров практически не изменился. Данный способ, при хорошем совпадении с результатами, полученными при имитации по первому способу, позволил сократить время проведения испытаний в 2 раза, а по сравнению с дорожными испытаниями в 20 раз.

Результаты испытаний, полученные при имитации нагруженности по третьему и четвертому способу, отличны от эксплуатационных. Это

результатом действием повышенных нагрузок на узлы привода, поскольку в условиях эксплуатации давления в приводе выше 3,5 МПа встречается крайне редко. Такие же результаты получены при реализации чистого способа имитации нагруженности. Ресурс колесных цилиндров оказался в 1,5...2 раза меньше, чем в условиях эксплуатации.

Имитация наиболее вероятных эксплуатационных нагрузок с кратковременной выдержкой нагружения показала удовлетворительные результаты, которые довольно близки к результатам, полученным при реализации первого и второго способов.

Проведенный комплекс испытаний подтвердил приемлемость разработанных имитационных моделей для определения долговечности узлов тормозной системы легковых автомобилей.

Выводы

1. Разработана методика, позволяющая получать данные о режимах работы элементов тормозных систем легковых автомобилей с гидравлическим приводом в реальных условиях эксплуатации.

2. Результаты исследования нагруженности тормозных систем легковых автомобилей среднего класса, полученные в типичных условиях эксплуатации при различных сочетаниях транспортных, дорожных и климатических факторов, могут быть использованы для обоснования наиболее вероятных режимов работы и составления стохастических математических моделей, имитирующих нагрузочные режимы тормозных систем легковых автомобилей других моделей, движущихся по городским дорогам в насыщенных транспортных потоках.

3. Разработана методика, которая позволяет создавать стохастические математические модели, имитирующие реальные эксплуатационные режимы работы тормозной системы автомобиля и ее элементов на испытательных стендах с автоматизированными системами управления.

4. Разработана математическая модель, имитирующая режимы работы тормозной системы автомобиля в сборе, которая позволяет осуществить при ресурсных лабораторных испытаниях многопараметрическое нагружение по вероятностным законам распределения нагрузок, зафиксированных в реальных условиях эксплуатации.

5. Реализация на ЭВМ математической модели, имитирующей режимы работы тормозной системы автомобиля в сборе, подтвердила приемлемость разработанных в диссертации и используемых для создания данной модели теоретических положений. Полученные с помощью имитационной модели вероятностные кривые распределения параметров, определяющих нагруженность тормозной системы автомобиля, адекватны экспериментальным кривым распределения.

6. Разработана и реализована путем программированных испытаний математическая модель, имитирующая эксплуатационные режимы работы тормозного привода легкового автомобиля. Долговечность узлов тормозного привода, полученная при лабораторных испытаниях, находится в интервале 60...90 тыс. км, что соответствует их действительному ресурсу в условиях реальной эксплуатации.

7. Наиболее точное совпадение результатов по ресурсу узлов тормозной системы автомобиля с гидравлическим приводом в лабораторных и эксплуатационных испытаниях достигнуто при моделировании нагрузочных режимов, соответствующих реальным как по величине, так и по продолжительности нагружения. Испытания в лабораторных условиях позволяют сократить время проведения по сравнению с такими же эксплуатационными в 6...10 раз.

8. Для ускоренного определения долговечности узлов тормозного привода целесообразно использовать математическую модель, имитирующую эксплуатационные нагрузки по величине с кратковременным нагружением. При статистическом среднесуточном пробеге автомобиля и

10-часовом режиме работы испытательного стенда использование данной модели сокращает продолжительность испытаний по сравнению с эксплуатационными в 20 раз.

Основное содержание диссертации изложено в следующих основных работах:

1. Решетников Е.Б., Волков В.П. Исследование нагруженности тормозной системы легковых автомобилей в условиях эксплуатации. - В сб.: Автомобильный транспорт. Вып. I7, Киев: Техника, 1980, с. 86...88.
2. Волков В.П., Поражко А.Ю. Исследование нагруженности и выходных характеристик вакуумных сервоусилителей тормозных систем легковых автомобилей. - В сб.: Автомобильный транспорт. Вып I8, Киев: Техника, 1981, с. 101...103.
3. Решетников Е.Б., Волков В.П. Исследование энергонагруженности тормозных механизмов легковых автомобилей ГАЗ-24. Харьков, 1979, 7 с. (Рукопись депон. в НИИавтопром 15.03.79 г., № Д 366).
4. Волков В.П. Некоторые результаты экспериментального определения нагруженности тормозной системы автомобиля ГАЗ-24 в эксплуатации. Харьков, 1979, 28 с. (Рукопись депон. в НИИавтопром 18.10.79 г., № Д 431).
5. Волков В.П. Исследование режимов работы тормозной системы легковых автомобилей-такси. - Э.И.Конструкции автомобилей. М.: НИИавтопром, 1980, № 3, с. 22...29.
6. Решетников Е.Б., Волков В.П. Нагруженность тормозной системы легковых автомобилей и периодичность ее обслуживания.-В сб.: Тезисы докладов и сообщений "Всесоюзная конференция по диагностике и прогнозированию технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта". Харьков, 1980, с. 167...168.
7. Волков В.П. Экспериментальное определение режимов работы тормозов автомобилей-такси. Харьков, 1980, 10 с. (Рукопись депон. в

НИИавтопром 21.04.80 г., № Д 486).

8. Исследование рабочих процессов тормозов легковых автомобилей ГАЗ: отчет ХАДИ; руководитель темы д.т.н., проф. Гредескул А.Б. Исполнители: Волков В.П. и др. Инв. № Б 771009, Харьков, 1978, 56 с.
9. Волков В.П. Программированные испытания узлов тормозной системы легкового автомобиля в лабораторных условиях. Харьков, 1981, 23 с. (Рукопись депон. в НИИавтопром 26.II.81 г. № Д 572).
10. Волков В.П. Воспроизведение режимов работы тормозов легковых автомобилей при лабораторных испытаниях по их вероятностным характеристикам. Харьков, 1981, 19 с. (Рукопись депон. в НИИавтопром 26.II.81 г., № Д 573).
- II. Исследовать долговечность тормозов легковых автомобилей ГАЗ: отчет ХАДИ; научный руководитель темы д.т.н., проф. Гредескул А.Б. Исполнители: Волков В.П. и др. Харьков, 1981, 75 с.

Ответственный за выпуск доцент Алёкса Н.Н.

ФЦ 15772 . Подписано к печати 26.03.1982 г. Заказ 157 .
Тираж 150. Объём 1,0 усл. печ. лист.
Ротапринт ХАДИ, Харьков, ул. Петровского, 25.