

На правах рукописи



ТЕБЕКИН МАКСИМ ДМИТРИЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ
ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс» (переименован в Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приокский государственный университет») на кафедре «Сервис и ремонт машин».

Научный руководитель: **НОВИКОВ Александр Николаевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные
оппоненты: **ЗАЯЦ Юрий Александрович**
доктор технических наук, профессор Рязанского высшего
воздушно-десантного командного училища им. В.Ф.
Маргелова, г. Рязань

ЗАГОРОДНИЙ Николай Александрович
кандидат технических наук, доцент Белгородского
государственного технологического университета им.
В.Г. Шухова, г. Белгород

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

Защита диссертации состоится **«16» декабря 2015 г. в 13:00 часов** на заседании объединенного диссертационного совета Д999.030.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77, аудитория 426.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте (www.gu-unprk.ru) ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, аудитория 340.

Автореферат разослан **«12» ноября 2015 г.** Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» (www.gu-unprk.ru) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации (vak2.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29. Телефон для справок +79058569797

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.030.03



А.А. Катунин

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Среди множества узлов подвески автомобилей, шаровый шарнир является наиболее важным несущим узлом, работоспособность которого напрямую зависит от условий эксплуатации, он является связующим элементом между колесом и подвеской, через шаровые шарниры передается вся нагрузка от подвески к колесам. Поэтому надежность работы шаровых шарниров в передней подвеске автомобилей определяет надежность работы всего автомобиля и оказывает непосредственное влияние на его безопасность.

Шаровые шарниры - несущие элементы подвески автомобилей, непосредственно влияющие на безопасность автомобиля и содержащие скрытое сопряжение, нуждающееся в периодическом и достоверном диагностировании, в связи с этим возникает необходимость в решении проблемы повышения эффективности диагностирования передней подвески типа «МаркФерсон», наиболее распространенного типа среди легковых автомобилей малого и среднего класса.

Основоположниками в области изучения проблем связанных с шаровыми шарнирами автомобиля являются Гун И. Г., Лапчинский В. В., Фролов А. М., Катунин А. А., Шулыгин В. О., Калмыков Ю. В, Волков А. В, Куликов Г. Б, Стрешнев А. Е, Чаплыгин К. В, а также зарубежные ученые Осса Е. А., Лан С., Джэеюн К. и др. В данных работах рассматривались вопросы повышения и совершенствования качества изготовления шаровых шарниров, закономерности изменения их технического состояния, виброакустическая диагностика подшипниковых узлов, однако эти вопросы не рассматривались в рамках предприятий по ремонту и обслуживанию автомобилей.

В диссертационной работе предлагается новый способ диагностирования шаровых шарниров в условиях автосервисного предприятия.

Актуальность темы исследования подтверждается выполнением диссертационной работы в рамках гранта президента РФ - «Разработка комплексной технической системы «Шаровый шарнир - эксплуатация, диагностика», руководитель Катунин А. А., общий объем 1200 тыс. руб.

Степень ее разработанности. Известные из научно-технической литературы результаты теоретико-прикладных исследований по вопросам диагностирования шаровых шарниров показывают, что применяемые методы, способы и средства не в полной мере отвечают современным требованиям рынка технического обслуживания и диагностирования подвески легковых автомобилей. Эта проблема изучена не полностью и на сегодняшний день требует внедрения компьютерных и информационных технологий для повышения качества предоставляемых услуг.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности определения технического состояния шарового шарнира подвески легкового автомобиля вибрационным методом.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены следующие **задачи**:

1. Спроектировать стенд, для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей и определения технического состояния шаровых шарниров.

2. Разработать математическую модель изменения технического состояния шарового шарнира передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля в условиях стендовых исследований.

3. Разработать способ определения величины осевого зазора в шаровом шарнире автомобиля.

4. Провести экспериментальные исследования для установления взаимосвязи величины осевого зазора в шаровом шарнире с величиной виброускорения в условиях лабораторных стендовых исследований и специализированного автосервисного предприятия вибрационным способом.

5. Разработать практические рекомендации по внедрению способа определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах для легковых автомобилей в условиях автосервисного предприятия.

6. Определить экономический эффект от внедрения способа диагностирования величины осевого зазора в шаровом шарнире автомобиля в условиях автосервисного предприятия.

Объектом исследования является шаровой шарнир легкового автомобиля.

Предметом исследования является способ оценки величины осевого зазора в шаровых шарнирах путем анализа величины виброускорения при их диагностировании.

Научная новизна. Разработаны новые теоретико-методические подходы по оценке величины осевого зазора в шаровых шарнирах подвески легковых автомобилей новая конструкция стенда для диагностирования и испытания элементов подвески и новый способ, позволяющий определить техническое состояние шаровых шарниров.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Новая конструкция стенда, для испытания и диагностирования элементов передней подвески легковых автомобилей.

2. Математическая модель изменения технического состояния шаровых шарниров подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля в условиях стендовых экспериментальных исследований.

3. Новый способ определения величины осевого зазора в шаровом шарнире подвески автомобиля.

4. Результаты экспериментальных исследований по определению величины осевого зазора в шаровом шарнире.

Практическая ценность и реализация работы:

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны:

- новый вибрационный способ диагностирования величины осевого зазора в шаровом шарнире автомобиля, позволяющий определять зазор в интервале от 0,1 мм, до 0,9 мм с погрешностью не превышающей 10%.

- новая конструкция стенда для диагностирования и испытания элементов подвески, позволяющего получить достоверную информацию о техническом состоянии шаровых шарниров подвески легкового автомобиля.

- новый способ и приспособление для контроля осевого зазора в шаровом шарнире на стенде для диагностирования и испытания элементов подвески.

- практические рекомендации по внедрению вибрационного способа диагностирования величины осевого зазора в шаровых шарнирах в условиях производства.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Сервис и ремонт машин» 2010-2014 г, на Международных научно-практических конференциях «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса» 2011-2015 гг. в «Госуниверситет-УНПК», г. Орел; «Traffic management and road safety issues in European cities» 2014 г. Прага, Чехия, «Молодые ученые - альтернативной транспортной энергетике», г. Воронеж, 2014 г, «Инновационные технологии технического сервиса в агропромышленном комплексе», г. Москва 2014 г; «Ремонт. Восстановление. Реновация», г. Уфа, 2015 г.

Реализация результатов работы. Теоретические, научно-методические, прикладные и экспериментальные исследования, направленные на повышение эффективности определения технического состояния шаровых шарниров подвески автомобилей внедрены в ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание», г. Орел. Результаты работы используются в образовательном процессе Госуниверситета-УНПК г. Орел, в дисциплине «Техническая эксплуатация автомобилей».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, получены 2 патента РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 5 приложений. Общий объем работы составляет 134 страницы, включает 87 рисунков, 35 таблиц.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, практическая значимость и дана ее общая характеристика. Сформулировано

направление исследования, поставлена цель и задачи, приведены основные положения выносимые на защиту, приведена практическая ценность и реализация работы.

В первой главе проведен анализ конструкций подвесок легковых автомобилей, рассмотрены их достоинства и недостатки, основные требования к подвескам современных легковых автомобилей. Рассмотрена статистика дорожно-транспортных происшествий, причиной которых явились неисправности в ходовой части автомобиля, которая показала, что шаровой шарнир является одним из ответственных элементов подвески автомобиля обеспечивающим безопасность движения.

Рассмотрена конструкция, классификация, материалы для изготовления шаровых шарниров, способы их испытаний и определения технического состояния, а также произведен анализ видов повреждений шаровых шарниров.

Проведен анализ используемых конструкций и принципа действия стендов для испытаний и определения технического состояния шаровых шарниров, а так же существующие способы определения технического состояния шаровых шарниров подвески легковых автомобилей. К ним можно отнести механические и электрические способы диагностирования.

Вторая глава. Для шаровых шарниров передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля параметром, характеризующим его техническое состояние, является осевой зазор h . Предельным считается состояние шарового шарнира, при котором осевой и радиальный зазоры достигают величины 0,7 мм, при приложении к пальцу осевой и радиальной нагрузок ± 981 Н. Эти величины справедливы для автомобильных шаровых пальцев с диаметром неполной сферы $d = 25 - 35$ мм.

Зависимость величины осевого зазора h может быть представлена в виде функции:

$$h = f(F_{\text{П}}, F_{\text{Б}}, F_{\text{В}}, N, \mu), \quad (1)$$

где $F_{\text{П}}$ – осевые нагрузки, направленные по продольной оси автомобиля, Н; $F_{\text{Б}}$ – боковые нагрузки внутри шарового шарнира, Н; $F_{\text{В}}$ – вертикальные нагрузки внутри шарового шарнира, Н; N – наработка узла, выражается в километрах пробега автомобиля; μ – коэффициент трения. Определены нагрузки и их направление (рисунок 1), возникающие в шаровых шарнирах передней подвески типа «МакФерсон» на примере легкового автомобиля малого класса «Daewoo Nexia» при различных условиях.

Диагностическим признаком, характеризующим техническое состояние шарового шарнира является перемещение пальца относительно корпуса шарнира в вертикальной плоскости в виду наличия зазора между полимерным вкладышем и шаровым пальцем. Это перемещение при работе подвески приводит к выработке зазора h , что характеризует появление вибраций в шарнире. Для определения технического состояния шаровых шарниров используется стенд (рисунок 2 а).

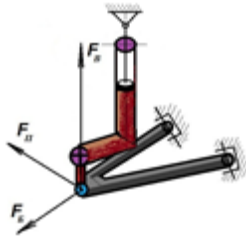


Рисунок 1- Направление сил, действующих на шаровый шарнир в подвеске автомобиля

Расчетную схему подвески можно представить в виде блочной структуры (рисунок 2 б). Первый блок отображает диагностируемый механизм - I, второй блок - исполнительный механизм - II.

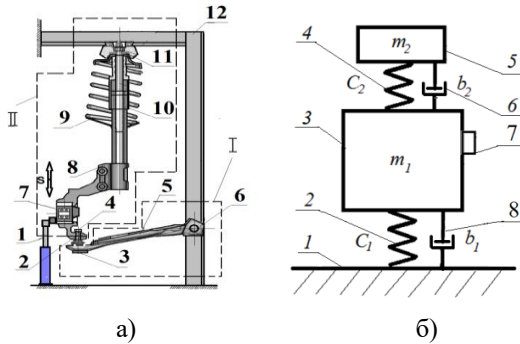


Рисунок 2 – Расчетная схема - «головка шарового пальца - полимерный вкладыш»:

а) схема механической части стенда для диагностирования и испытания элементов подвески: 1 – гидроцилиндр, 2 – палец шарового шарнира, 3 – корпус шарового шарнира, 4 – гайка крепления пальца, 5 - рычаг, 6 – шарнирное соединение, 7 – ступичный подшипник, 8 – поворотный кулак, 9 - пружина, 10 – направляющий элемент, 11 – опорный подшипник, 12 – рама, I – воспринимающий механизм, II – исполнительный механизм; б) блочная структура стенда: 1 – рама испытательного стенда, 2 – упругий элемент с коэффициентом жесткости c_1 , 3 – диагностируемый механизм, 4 - упругий элемент с коэффициентом жесткости c_2 , 5 – исполнительный механизм, 6 – демпфер с вязкостным сопротивлением b_2 , 7 – вибродатчик, 8 - демпфер с вязкостным сопротивлением b_1

Математическая модель изменения технического состояния шарового шарнира передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля в условиях стендовых исследований может быть представлена в виде дифференциального уравнения:

$$m_1 \ddot{x} + b_1 \dot{x} + c_1 x + (\dot{x} - \dot{y})b_2 + (x - y)c_2 = 0; \quad (2)$$

где x – вертикальное перемещение массы m_1 , м; \dot{x} – скорость массы m_1 , м/с; \ddot{x} – ускорение массы m_1 , м/с²; y – кинематическое воздействие массы m_2 (принудительное смещение «базинерционной части установки»), м; \dot{y} – скорость

«безинерционной части установки»), м/с; b_1 - вязкостное сопротивление в сопряжении «рычаг - рама станда», $\text{м}^2/\text{с}$; b_2 - вязкостное сопротивление в сопряжении «головка пальца - полимерный вкладыш», $\text{м}^2/\text{с}$; c_1 - коэффициент жесткости сопряжения «рычаг - рама станда», $\text{кг}/\text{с}^2$; c_2 - коэффициент жесткости сопряжения «головка пальца - полимерный вкладыш», $\text{кг}/\text{с}^2$.

При этом использовались следующие допущения и ограничения:

- коэффициент жесткости c_1 считается постоянным (система линейна);
- сухим тернием в шаровом шарнире пренебрегаем, причем $b_2 \ll b_1$;
- исполнительный механизм II обеспечивает заданное принудительное линейное смещение шарового пальца 2, поэтому в расчётной схеме масса $m_2 = 0$;
- полимерный вкладыш является упругой средой ($c_2 \rightarrow \infty$, если $|x - y| \leq h$; $c_2 = 0$, если $|x - y| > h$).

$$y = y_0 \sin \omega t; \quad (3)$$

где $y_0 = 0,01$ м - перемещение массы m_2 , обеспечивает работу станда с частотой 2 Гц; ω - частота кинематических возмущений изменяется в диапазоне $6 - 18 \text{ с}^{-1}$ (что сопоставимо с частотой работы станда 1 - 2 Гц и движением автомобиля по дороге с гравийным покрытием со скоростью 5-15 км/ч); t - время, с.

Провели математическое преобразование исходного дифференциального уравнения к безразмерному виду и получили уравнение:

$$\ddot{\xi} + \frac{\varepsilon_1}{\eta} \dot{\xi} + \frac{g_1}{\eta^2} \xi = \frac{\varepsilon_2}{\eta} \cos \tau + \frac{g_2}{\eta^2} \sin \tau. \quad (4)$$

Решение и расчеты производились в программной среде Mathcad. После составления программы изменения технического состояния шарового шарнира в условиях стендовых исследований, построили график зависимости виброускорения от времени, по оси абсцисс задали время, по оси ординат - виброускорение (рисунок 3).

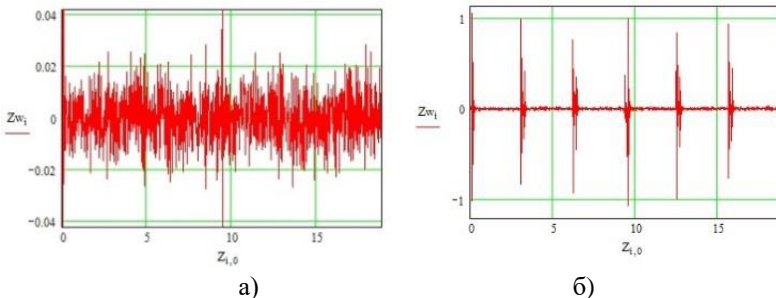


Рисунок 3 - График виброускорения, полученный в программе Mathcad для уравнений, приведенных к безразмерному виду, при следующих значениях величины безразмерного зазора Δ : а) 0,001; б) 0,09

Основной исследуемый параметр - безразмерный зазор - Δ , который зависит от размерного зазора h и перемещения массы m_1 - уравнение (5):

$$\Delta = \frac{h}{y_0}, \quad (5)$$

$$Z_{Wi} = \frac{at_0}{y_0\omega}, \quad (6)$$

где Z_{Wi} – безразмерное виброускорение;

a - размерное виброускорение, м/с^2 ;

$t_0=0,001$ с - время шага для построения графика функции в программной среде Mathcad, соответствует $N=1000$ - количество шагов за секунду необходимое для построения графика функции - минимальное значение необходимое для адекватного построения графика. Получаем: $Z_{Wi} = 0,0125a$.

На рисунке 4 а, представлен график зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора Δ в шаровых шарнирах, полученный моделированием в программной среде Mathcad. В процессе перехода от безразмерных величин к размерным получен график зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора в шаровых шарнирах (рисунок 4 б), с использованием зависимостей (5) и (6):

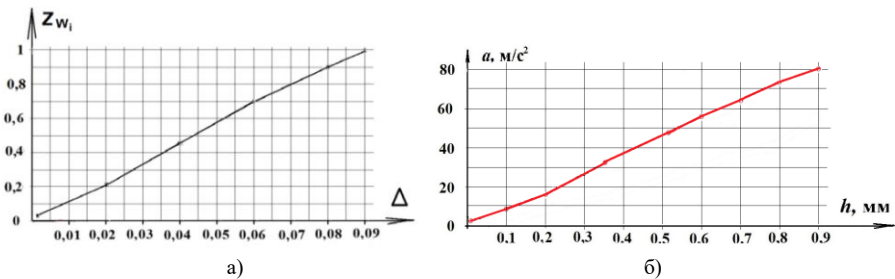


Рисунок 4 - Графики зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов, полученный моделированием в программной среде Mathcad: а) *безразмерный вид*, б) *размерный вид*

Третья глава посвящена разработке конструкции и расчету стенда для диагностирования и испытания элементов подвески и методике проведения экспериментов. Основа стенда – одна сторона модернизированной передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля «Daewoo Nexia» (рисунок 2 а). Во время работы стенда сохраняется кинематика движения и все нагрузки в шаровом шарнире, аналогично нагрузкам в шарнире автомобиля при его эксплуатации (рисунок 5). В качестве источника возвратно-поступательного движения используется вертикальный гидроцилиндр двустороннего действия – Ц 40х250-11-8811 (рисунок 6, поз. 1).

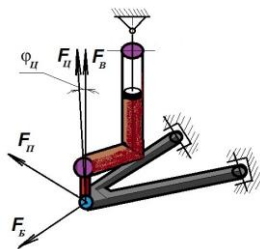


Рисунок 5 - Направление сил, действующих на шаровый шарнир при проведении исследований на диагностическом стенде

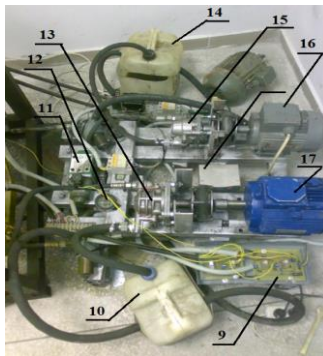
Предохранительный клапан, имеющий встроенный регулятор давления позволяет изменять вертикальную нагрузку в пределах от 150 до 4063 Н (таблица 1). Частота работы стенда определяется экспериментальным путем. При величине давления в основной гидролинии 1,8 МПа составляет 2 Гц, что соответствует движению легкового автомобиля по дороге с грунтовым покрытием со скоростью 5-15 км/ч.

Таблица 1 – Максимальные силы, действующие на шаровый шарнир в подвеске автомобиля и в диагностическом стенде

Максимальные силы, Н	Автомобиль «Daewoo Nexia»	Диагностический стенд
Продольная, $F_{\text{П}}$	149	12 - 355
Боковая, $F_{\text{Б}}$	1512	1591
Вертикальная, $F_{\text{В}}$	179	150 - 4063



а)



б)

Рисунок 6 - Общий вид стенда для диагностирования шаровых шарниров:

а) механическая часть, б) гидравлическая часть:

1 – вертикальный (основной) гидроцилиндр, 2 - вертикальный рычаг гидроцилиндра, 3 - поворотный кулак, 4 - рама стенда, 5 - рычаг, 6 - кнопка аварийного отключения стенда, 7 - горизонтальный гидроцилиндр, 8 - горизонтальный рычаг гидроцилиндра, 9 - контроллер, 10 - гидробак привода основного гидроцилиндра, 11 - гидравлический распределитель основного гидроцилиндра, 12 - манометр, 13 - насос привода основного гидроцилиндра, 14 - гидробак привода дополнительного гидроцилиндра, 15 - насос привода дополнительного гидроцилиндра, 16 - электродвигатель привода дополнительного гидроцилиндра, 17 - насос привода основного гидроцилиндра

Разработан способ проведения лабораторных стендовых экспериментов. Для проведения экспериментальных исследований использовался стенд для испытания и диагностирования элементов подвески (рисунки 2 а, б), два вибродатчика ДН-3, соединительные провода, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), компьютер с установленным программным обеспечением – программой для обработки сигналов LabVIEW SignalExpress, тридцать шаровых шарниров с различной степенью износа, устройство для контроля зазора в шаровом шарнире. Каждый из шарниров был пронумерован.

Способ проведения исследований включал в себя установку шарнира на стенд, контрольное измерение осевого зазора, прогрев стенда, установку испытательного стенда в рабочее положение, запуск и настройка программного обеспечения, запуск стенда, снятие показаний вибродатчиков. Далее происходит остановка стенда, проверка и сохранение полученных данных с помощью программного обеспечения LabVIEW SignalExpress.

Произведено экспериментальное обоснование способа диагностирования технического состояния шаровых шарниров подвески автомобилей. Основной целью экспериментальных исследований являлось получение зависимостей между величиной осевого зазора h в шарнирах и показаниями вибродатчиков. Эти данные необходимы для разработки технологии, позволяющей определять осевой зазор h в шаровых шарнирах, которые находятся в реальной эксплуатации с помощью вибродатчиков, без разборки и снятия шаровых шарниров с автомобиля.

Получены графики зависимостей величины виброускорения, преобразованного с помощью АЦП в цифровой формат, от времени, в течение которого происходит измерение сигнала от вибродатчиков. На рисунке 7 представлены основные характеристики эксперимента.

Основные положения методов обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями произведены в соответствии с ГОСТ 8.207-76.

Для совершенствования процесса диагностирования величины осевого зазора в шаровых шарнирах была разработан способ диагностирования непосредственно в условиях автосервисного предприятия. Для этого использовали за основу способ стендовых лабораторных исследований с внесением в нее соответствующих поправок.

Для проведения экспериментальных исследований в условиях автосервисного предприятия использовался автомобиль «Daewoo Nexia» и оборудование аналогичное лабораторным экспериментальным исследованиям (рисунок 8, а). В качестве источника возвратно-поступательных движений подвески использовался вибрационный стенд Zippo 8090 (рисунок 8, б). Способ проведения экспериментов в условиях автосервисного предприятия аналогичен способу проведения экспериментов в лабораторных условиях.

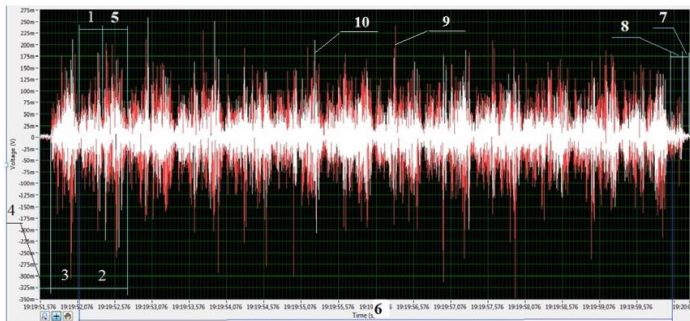


Рисунок 7 - Основные характеристики эксперимента и общий вид совместного графика зависимости виброускорения от осевого зазора: 1 - фаза один, 2- цикл, 3 - начальная фаза, 4 - сигнал предшествующий включению стенда (проведению испытаний), 5 - фаза два, 6 - рабочие циклы эксперимента, 7 - сигнал после выключения стенда (завершения испытаний), 8 - конечная фаза



а)



б)

Рисунок 8 – Общий вид рабочей части вибрационного стенда с диагностируемым автомобилем: а) преобразовательная и обрабатывающая часть диагностической установки, б) рабочая часть стенда (люфт-детектора) с испытуемым автомобилем

В четвертой главе представлены результаты и произведен анализ экспериментальных исследований.

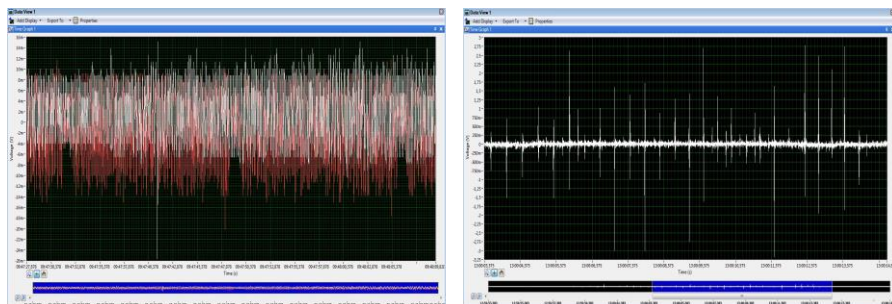
Для эксперимента в условиях лабораторных стендовых исследований использовали тридцать шаровых шарниров, которые имеют зазор в пределах 0,1 - 0,9 мм с интервалом 0,13-0,2 мм. В качестве эталона использовался шаровый шарнир №1, новый, без эксплуатации на автомобиле. Осевой зазор h которого был замерен на стенде с помощью специализированного приспособления и составил 0,01 мм. Остальные шарниры были демонтированы из подвески автомобиля при различных величинах пробега.

В диссертационной работе рассмотрены эксперименты для шести шарниров (таблица 2) в каждом из которых величина осевого зазора изменяется с шагом 0,13-0,2 мм в пределах от 0,01 мм, до 0,89 мм. Остальные эксперименты представлены в приложении В диссертации.

На рисунке 9 а представлен совместный график зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №1. Анализ графика показал, что средняя величина напряжения на вибродатчике в верхнем диапазоне составляет 14 - 16 mV, в нижнем диапазоне от -10, до -18 mV. На рисунке 9 б представлен совместный график зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №7.

Таблица 2 - Исследуемые характеристики диагностируемых шарниров для задач анализа

Испытательный образец	Величина осевого зазора, мм	Степень износа	Характеристика образца
№1	0,01	отсутствует(0,16 %)	Новый, без эксплуатации
№2	0,24	23,3 %	Бывший в эксплуатации
№3	0,39	48,3 %	Бывший в эксплуатации
№4	0,54	73,3 %	Бывший в эксплуатации
№5	0,68	96,7 %	Бывший в эксплуатации
№6	0,81	118,3 %	Выработавший свой ресурс



а)

б)

Рисунок 9 – Общий вид графиков зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента: а) шарнир №1, величина осевого зазора 0,01 мм; б) шарнир №7, величина осевого зазора 0,89 мм.

Анализ графика показал, что средняя величина напряжения на вибродатчике в верхнем диапазоне составляет 600 - 800 mV, в нижнем диапазоне от -550, до -800 mV.

Анализ всех экспериментов представлен в виде графиков зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах (рисунок 10). Полученные данные могут служить основой для получения способа диагностирования величины зазора в шаровых шарнирах.

Для дальнейших исследований использован график максимального значения амплитуды виброускорения, который приводим к виду, который можно описать квадратичным уравнением (рисунок 11).

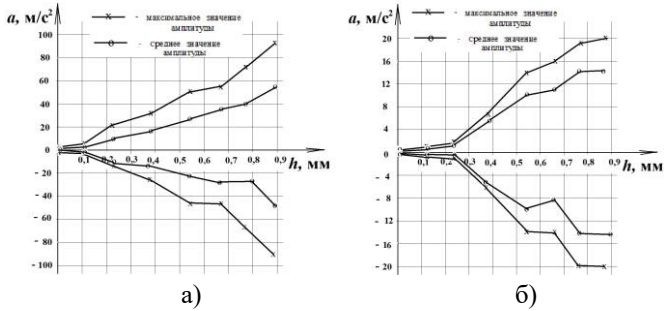


Рисунок 10- Графики зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах: а) фаза 1, б) фаза 2

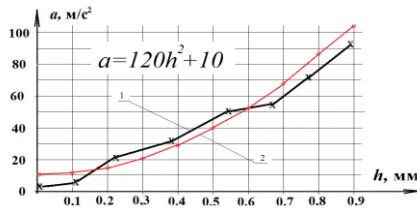


Рисунок 11 - График зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора шарниров: 1 - график, полученный экспериментальным путем, 2 - приведенный график

Полученное уравнение имеет вид:

$$h = \sqrt{\frac{a-10}{120}}, \quad (7)$$

Как показал анализ совместных графиков, зависимость проявляется при величине зазора в диапазоне от 0,01 мм, до 0,9 мм, то есть для всех шарниров, представленных в исследовании.

На рисунке 12 представлены значения виброускорения для графиков верхнего, нижнего и среднего арифметического исправленного значений. Погрешность измерения величины осевого зазора вибрационным способом в сравнении с измерением зазора контрольным устройством в пределах величины зазора 0,1 - 0,9 мм не превышает 10 %.

Далее производилось сопоставление полученного экспериментальным путем графика зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора шарниров (рисунок 11) с графиком, полученным на основе математической модели, предложенной во 2 главе диссертационной работы (рисунок 4 б). Наибольшее расхождение между ними не превышает 10 % (рисунок 13), что подтверждает адекватность разработанной математической модели изменения технического со стояния шарового шарнира и позволяет с высокой степенью

достоверности использовать математическую модель при определении величины осевого зазора в шаровом шарнире в условиях стендовых исследований.

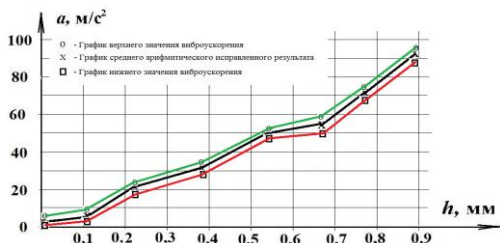


Рисунок 12 - Графики верхнего, нижнего и среднего арифметического исправленного значений величины виброускорения



Рисунок 13 - График зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов

Для экспериментальных исследований в условиях автосервисного предприятия использовали те же шарниры, что и для стендовых исследований. В рамках диссертационной работы рассмотрены 6 экспериментов (таблица 3), поскольку они наиболее полно отображают исследуемый интервал осевого зазора шаровых шарниров от нового, без эксплуатации с величиной зазора 0,01 мм, до выработавшего свой ресурс с величиной зазора более 0,7 мм.

Таблица 3 - Исследуемые характеристики диагностируемых шарниров для задач анализа в условиях автосервисного предприятия

Испытательный образец	Величина осевого зазора, мм	Степень износа	Характеристика образца
№1	0,01	отсутствует (0,16%)	Новый, без эксплуатации
№2	0,28	30%	Бывший в эксплуатации
№3	0,46	60%	Бывший в эксплуатации
№4	0,59	73,3%	Бывший в эксплуатации
№5	0,74	106,7%	Бывший в эксплуатации
№6	0,84	123,3%	Выработавший свой ресурс

Анализ всех экспериментов представлен в виде графиков зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах (рисунок 14).

Полученные результаты могут служить основой для разработки способа диагностирования величины зазора в шаровых шарнирах. Определены зависимости между величинами максимального значения амплитуды и величиной осевого зазора в шарнирах.

Анализ графиков показал, что наиболее близкую к квадратичной зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах имеют графики максимального и среднего верхних значений амплитуды (рисунок 14). Для дальнейших исследований используем график максимального значения амплитуды, как более близкого к квадратичной зависимости (рисунок 15). Полученное уравнение имеет вид:

$$h = \sqrt{\frac{a-1,1}{20}} \quad (8)$$

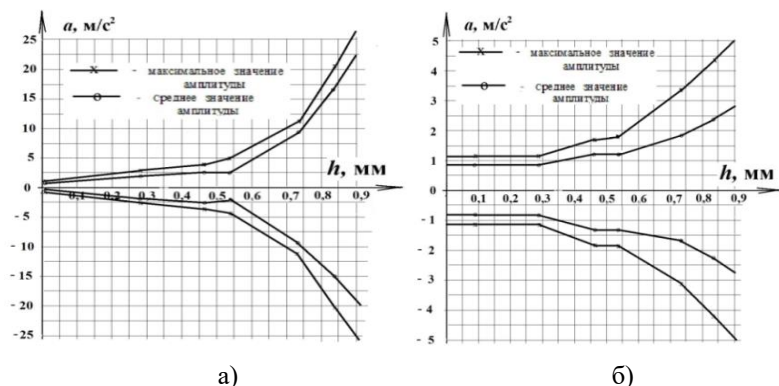


Рисунок 14 - Графики зависимости усредненных максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора в экспериментальных образцах: а) фаза 1 и 2, б) при прохождении точки экватора (между фазой 1 и 2)

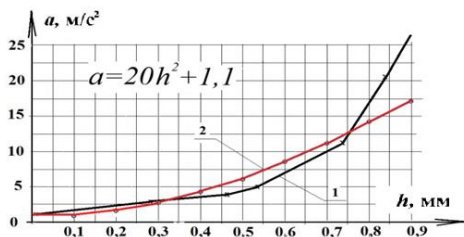


Рисунок 15 - График зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов: 1 - график, полученный экспериментальным путем, 2 - приведенный график

Погрешность измерения величины осевого зазора вибрационным способом в сравнении с измерением зазора контрольным устройством в пределах величины зазора 0,1 - 0,9 мм не превышает 10 %.

Величины максимальной и средней амплитуд виброускорения (рисунок 14) на порядок ниже, чем те же характеристики, полученные при проведении стендовых лабораторных исследований. Это связано с тем, что вибрации, возникающие в подвеске автомобиля и его шаровых шарнирах, при исследованиях в условиях автосервиса в значительной степени поглощаются шинами автомобиля. Полученные результаты могут служить основой для методики диагностирования осевого зазора в шаровых шарнирах.

Пятая глава посвящена внедрению способа диагностирования шаровых шарниров подвески легкового автомобиля на предприятии по ремонту и обслуживанию автомобилей. Проведенная работа показала, что предлагаемый способ повышает качество диагностирования шаровых шарниров легковых автомобилей, за счет определения их технического состояния по величине осевого зазора с погрешностью не более 10%.

Экономический эффект от применения вибрационного способа диагностирования шаровых шарниров заключается в снижении времени проведения диагностирования по сравнению с используемыми способами до 45%, что в переводе на минуты может составлять 20-30 мин. и более в зависимости от ситуации на каждый диагностируемый автомобиль малого и среднего класса.

Срок окупаемости нового способа диагностирования передней подвески легкового автомобиля составит 1,22 года. Экономический эффект от применения вибрационного способа определения технического состояния шаровых шарниров составит 77 760 руб/год.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности определения технического состояния шаровых шарниров, на основе применения вибрационного способа диагностирования.

Разработаны теоретико-методические подходы и проведены экспериментальные исследования, совокупность которых можно квалифицировать как достижение, направленное на решение научно-прикладной проблемы повышения эффективности диагностирования шаровых шарниров подвески легковых автомобилей.

Основные результаты и выводы:

1. Проведен анализ конструкций передних подвесок легковых автомобилей, он показал, что 80% легковых автомобилей имеют переднюю подвеску типа «МакФерсон» и анализ существующих способов определения технического состояния шаровых шарниров, который выявил их недостатки – сложность исполнения, низкая точность измерения, высокие затраты времени и материальных средств на диагностирование. Это подтверждает актуальность

разработанного вибрационного способа определения технического состояния шаровых шарниров.

2. Разработаны научно-методические подходы и математическая модель изменения технического состояния шарового шарнира передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля, при стендовых исследованиях, которая может быть представлена в виде уравнения:

$$\ddot{\xi} + \frac{\varepsilon 1}{\eta} \dot{\xi} + \frac{g 1}{\eta^2} \xi = \frac{\varepsilon 2}{\eta} \cos \tau + \frac{g 2}{\eta^2} \sin \tau.$$

3. Предложены оригинальная конструкция стенда защищённого патентом РФ (№ 2483287), для испытаний и диагностирования элементов передней подвески легковых автомобилей и новый способ диагностирования величины осевого зазора в шаровых шарнирах защищённый патентом РФ (№ 2556814).

4. Проведены экспериментальные исследования по определению величины осевого зазора в 30 образцах шаровых шарнирах с применением вибрационного способа, получены численные значения виброускорения и их соответствие величине осевого зазора:

- для условий лабораторных стендовых исследований от 1,4 м/с², что соответствует величине осевого зазора 0,01мм, до 95 м/с² - соответствует осевому зазору 0,9 мм.;

- для условий автосервисного предприятия от 1,0 м/с², что соответствует величине осевого зазора 0,01мм до 2,8 м/с² - соответствует осевому зазору 0,9 мм.

5. На основе анализа графиков зависимости максимальной амплитуды виброускорения a от времени проведения эксперимента, в испытательных образцах с величиной осевого зазора 0,01-0,9 мм, получены эмпирические зависимости для определения фактической величины осевого зазора h :

- для условий лабораторных стендовых исследований: $h = \sqrt{\frac{a-10}{120}}$;

- для условий автосервисного предприятия: $h = \sqrt{\frac{a-1,1}{20}}$.

6. Сопоставление графиков зависимости виброускорения от величины осевого зазора при математическом моделировании и при экспериментальном исследовании показало, что наибольшее расхождение между ними не превышает 10%. Это подтверждает адекватность разработанной математической модели изменения технического состояния шарового шарнира и ее соответствие условиям стендовых исследований.

7. Разработаны практические рекомендации, которые заключаются в том, что для корректного измерения виброускорения в шаровом шарнире достаточно применять один вибродатчик ДН-3, устанавливаемый в контакте с шаровым шарниром, параллельно продольной оси шарового пальца. Практическая значимость результатов проведенной работы заключается в повышении

эффективности диагностирования подвески легковых автомобилей вибрационным способом, за счет повышения точности измерения в три раза по сравнению с традиционным способом диагностирования и сокращения времени диагностирования на 45% от общего времени диагностирования традиционным способом. Это позволяет получить экономический эффект в размере 77 760 руб/год от внедрения разработанного способа в условиях производства, рассчитанный на примере предприятия ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание», г. Орел. Срок окупаемости предлагаемого способа составит 1,22 года.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук

1. **Тебекин, М.Д.** Современные способы стендовых испытаний шаровых шарниров / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. –2010.– №4(31).– С.27-34.

2. **Тебекин, М. Д.** Проблемы эксплуатации шаровых опор легковых автомобилей / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. –2010.– №3(30).– С.42-45.

3. **Тебекин, М. Д.** Ускоренные испытания шаровых опор передней подвески легковых автомобилей / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. –2011.– №1(32).– С.41-44.

4. **Тебекин, М. Д.** Гидравлический привод стенда для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей /М. Д. Тебекин, А. А. Катунин, А. Н. Новиков// Мир транспорта и технологических машин.–2011.–№2(33).– С.6-8.

5. **Тебекин, М.Д.** Стендовые испытания ресурса шаровых опор / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин.– 2011.– №3(34).– С.39-42.

6. **Анализ повреждений шаровых шарниров** / М.Д. Тебекин [и др.] // Мир транспорта и технологических машин.–2012.–№1(36).– С.8-14.

7. **Тебекин, М. Д.** Методика проведения стендовых экспериментов по определению технического состояния шаровых опор / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин.–2014. – №2(45). –С.14-20.

8. **Тебекин, М.Д.** Вибродиагностика, как способ определения технического состояния шаровых элементов подвески автомобилей [Текст] / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Автотранспортное предприятие. –2014. – №11. – С.25–27.

9. **Математическое моделирование технического состояния шарового шарнира в условиях стендовых испытаний** / М.Д. Тебекин [и др.] // Мир транспорта и технологических машин.–2014.–№4(47). – С.39-46.

Патенты РФ

10. **Пат. 2483287 Российская Федерация, МПК, G01M 17/04.** Стенд для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей / М. Д. Тебекин, А. А. Катунин, А. Н. Новиков.; заявитель и патентообладатель Орел. Госуниверситет -УНПК.–№ 2011122131/11, заявл. 31.05.2011; опубл. 27.05.2013, бюл. №15. – 6 с.

11. **Пат. 2556814 Российская Федерация, МПК, G01M17/00, G01M7/06.** Способ диагностирования величины осевого зазора в шаровом шарнире автомобиля / М. Д. Тебекин, А. А. Катунин, А. Н. Новиков, Майоров М. В., Мишин В. В.; заявитель и патентообладатель Орел. Госуниверситет -УНПК.–№ 2014107594/11, заявл. 27.02.2014; опубл. 20.07.2015. – 6 с.

В прочих изданиях

12. **Тебекин, М. Д.** Стендовые испытания элементов передней подвески легковых автомобилей [Текст] / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса.: Сб. мат. международной науч.-практич. конф. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2011.– С.35-41.

13. **Тебекин, М. Д.** Гидравлический привод стенда для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей [Текст] / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: Сб.мат.международной науч.-практич. конф.–Орел: Госуниверситет -УНПК,2012.–С.44-50.

14. **Диагностирование шаровых шарниров подвески автомобиля вибрационным способом и математическое моделирование изменения их технического состояния** / М.Д. Тебекин [и др.] // Ремонт. Восстановление. Реновация: Сб. мат. всероссийск. научн.-практич. конф. – Уфа: БГАУ, 2015. – С.63-69.

15. **Тебекин, М. Д.** Экспериментальные исследования величины осевого зазора в шаровых шарнирах подвески легкового автомобиля [Текст] / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, В. И. Чернышев // Информационные технологии и инновации на транспорте: Сб. мат. молодежн. международн. научн.-практич. конф. – Орел: Госуниверситет -УНПК, 2015.– С.48-54.