

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

на правах рукописи



ТЕБЕКИН МАКСИМ ДМИТРИЕВИЧ

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор
А.Н. Новиков

Орел – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Обзор конструкций подвесок, шаровых шарниров, их неисправностей, испытательных и диагностических стендов.....	9
1. 1 Анализ конструкций подвесок легковых автомобилей.....	9
1. 2 Анализ технических неисправностей механизмов легковых автомобилей, обеспечивающих безопасность движения.....	10
1. 3 Применение шаровых шарниров в подвеске легковых автомобилей.....	12
1. 3. 1 Конструкция шаровых шарниров.....	13
1. 3. 2 Классификация шаровых шарниров	15
1. 4 Анализ видов повреждений шаровых шарниров.....	16
1. 5 Методы и способы испытаний и диагностирования шаровых шарниров.....	20
1. 6 Обзор конструкций стендов для испытания шаровых шарниров	22
1. 7 Существующие методики определения технического состояния шаровых шарниров подвески легковых автомобилей.....	24
1. 7. 1 Механические способы определения технического состояния шаровых шарниров подвески легковых автомобилей.....	24
1. 7. 2 Электрические способы определения технического состояния шаровых шарниров подвески легковых автомобилей.....	27
Выводы по главе.....	28
Глава 2. Теоретико-методические подходы по определению величины осевого зазора в шаровых шарнирах передней подвески типа «МакФерсон» легковых автомобилей вибрационным способом.....	29
2. 1 Параметры определяющие величину осевого зазора в шаровом шарнире	29
2. 2 Определение нагрузок, возникающих в шаровых шарнирах подвески типа «МакФерсон» на примере автомобиля «Daewoo Nexia».....	29
2. 3 Разработка математической модели изменения технического состояния шаровых шарниров подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля в условиях стендовых экспериментальных исследований	37
Выводы по главе.....	49
Глава 3. Методика проведения экспериментальных исследований величины осевого зазора в шаровых шарнирах.....	50
3.1 Обоснование вибрационного способа определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах подвески легковых автомобилей.....	50

3. 2 Проектирование стенда для диагностирования и испытания элементов подвески, конструкция, расчет, принцип действия	52
3. 2. 1 Механическая часть стенда для испытания и диагностирования элементов подвески.....	53
3. 2. 2 Гидравлическая часть стенда для испытания и диагностирования элементов подвески	54
3. 2. 3 Электрическая часть стенда для испытания и диагностирования элементов подвески.....	57
3. 2. 4 Принцип работы стенда для испытания и диагностирования элементов подвески.....	58
3. 2. 5 Определение нагрузок, возникающих в шаровом шарнире на стенде для испытания и диагностирования элементов подвески.....	59
3. 3 Приспособления и измерительные устройства для проведения лабораторного стендового экспериментального исследования.....	63
3. 4 Способ проведения лабораторного стендового экспериментального исследования.....	66
3. 5 Обработка и анализ результатов стендового экспериментального исследования с помощью программного обеспечения LabVIEW SignalExpress	70
3. 6 Обработка результатов экспериментального исследования по критерию достоверности	73
3. 7 Способ проведения экспериментального исследования в условиях автосервисного предприятия.....	74
Выводы по главе.....	78
Глава 4. Экспериментальные исследования величины осевого зазора в шаровых шарнирах	79
4.1 Результаты лабораторного стендового экспериментального исследования по определению величины осевого зазора в шаровых шарнирах подвески легковых автомобилей	79
4.1.1 Результаты экспериментального исследования	81
4. 1. 2 Оценка результатов экспериментального исследования.....	93
4. 1. 3 Сопоставление результатов теоретического и экспериментального исследования	96
4. 2 Результаты экспериментального исследования полученного в условиях автосервисного предприятия.....	97
4. 2. 1 Результаты экспериментального исследования	98
4. 2. 2. Оценка результатов экспериментального исследования.....	106

Выводы по главе.....	110
Глава 5. Производственные рекомендации и определение экономического эффекта от внедрения вибрационного способа определения осевого зазора в шаровых шарнирах	111
5.1 Технология диагностирования шаровых шарниров с помощью вибрационного способа.....	111
5.2 Производственные рекомендации по внедрению вибрационного способа определения осевого зазора в шаровых шарнирах.....	118
5.3 Расчет экономического эффекта.....	119
Выводы по главе.....	121
Заключение.....	122
Список литературы.....	124
Приложения.....	136
Приложение А - Пример математического моделирования изменения технического состояния шарового шарнира в программной среде Mathcad.....	137
Приложение Б - Патенты	138
Приложение В - Результаты лабораторного стендового экспериментального исследования.....	140
Приложение Г - Результаты экспериментального исследования в условиях автосервисного предприятия	150
Приложение Д - Акты о внедрении в производство вибрационного способа определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах	158

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Среди множества узлов подвески автомобилей, шаровый шарнир является одним из важных несущих узлов, работоспособность которого напрямую зависит от условий эксплуатации. Шаровые шарниры в подвеске легковых автомобилей определяют надежность работы всего автомобиля и оказывает непосредственное влияние на его безопасность [1].

Шаровые шарниры используются для соединения элементов подвески и рулевого управления и представляют собой кинематические сопряжения, имеющие три угловые степени свободы при перемещении рабочих элементов (рычагов) [2]. Такие шарниры являются ответственными сопряжениями, т.к. реализуют в связях высокие нагрузки: вертикальные – от веса автомобиля, горизонтальные – от силы тяги, торможения и поворота автомобиля. Надежность работы шарниров оказывает значительное влияние на безопасность движения автомобиля.

В большинстве случаев шаровый шарнир является неразборным узлом [3], что значительно затрудняет определение технического состояния в условиях автосервисного предприятия. Одним из способов диагностирования являются лабораторные стендовые исследования шаровых шарниров. Для получения достоверной информации о величине износа шаровых шарниров и разработки методики определения их технического состояния в условиях автосервисного предприятия необходима область лабораторных стендовых исследований. При диагностировании шаровых шарниров на стенде, он должен в полной мере имитировать все движения и усилия, передающиеся на шарниры в реальных условиях.

Кроме того, что бы иметь возможность в полной мере доверять результатам стендовых исследований, необходима их проверка данными, полученными в условиях производства [4].

Исследования, направленные на разработку методов, средств и алгоритмов определения технического состояния шаровых шарниров в условиях автосервисного предприятия является актуальным.

Предельным состоянием шарового шарнира принято считать состояние, при котором осевой и радиальный зазоры пальца в корпусе 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 [5, 6].

Учитывая вышесказанное, возникает необходимость в решении проблемы повышения эффективности диагностирования передней подвески типа «МакФерсон», наиболее распространенного типа среди легковых автомобилей.

Основоположниками в области изучения проблем связанных с шаровыми шарнирами являются Гун И. Г., Лапчинский В. В., Фролов А. М., Шулыгин В. О., Калмыков Ю. В, Волков

А. В, Куликов Г. Б, Стрешнев А. Е, Чаплыгин К. В [7-10], а также зарубежные ученые Осса Е. А., Лан С., Джэюнг К. и др [11-17]. 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 диагностирования на предприятиях 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 работы является повышение эффективности определения технического состояния шарового шарнира подвески легкового автомобиля вибрационным способом.

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

1. Спроектировать стенд, для диагностирования и испытания элементов 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 шаровом шарнире 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.

Применялись следующие методы исследования: методы статистического анализа, методы обработки результатов наблюдений, основные положения теории вероятности и математической статистики, методы анализа с применением прикладного программного обеспечения MS Excel 2007, STATISTICA 6.1.478, MathCAD 11, LabVIEW SignalExpress, теория цифровой обработки сигналов, методы математического моделирования.

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.

Достоверность результатов, полученных в ходе экспериментальных исследований, подтверждается применением апробированных научно обоснованных методик обработки данных. Достоверность результатов теоретических исследований подтверждается применением современных математических методов и средств вычислительной техники.

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, 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» г. Прага, Чехия, 2014 г.; Всероссийских научно-практических конференциях «Молодые ученые - альтернативной транспортной энергетике», г. Воронеж 2014 г, «Инновационные технологии технического сервиса в агропромышленном комплексе» г. Москва 2014 г; «Ремонт. Восстановление. Реновация» в рамках X промышленного салона и специализированных выставок ПРОМЭКСПО, Станки и Инструмент Сварка. Контроль. Диагностика, г. Уфа 2015 г.

Реализация результатов работы. Теоретические, научно-методические, прикладные и экспериментальные исследования, направленные на повышение эффективности определения технического состояния шаровых шарниров подвески автомобиля 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, в том числе 9 в журналах входящих в перечень ВАК, получены 2 патента РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 5 приложений. Объем работы составляет 134 страниц и включает 86 рисунков, 35 таблиц, 5 приложений.

ГЛАВА 1. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ПОДВЕСОК, ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ, ИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ, ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СТЕНДОВ

1.1 Анализ конструкций подвесок легковых автомобилей

Подвеска обеспечивает упругую связь между кузовом и колесами, смягчая толчки и удары, при движении автомобиля по неровностям дороги. Благодаря ее наличию повышается долговечность автомобиля, а водитель и пассажиры чувствуют себя комфортно. Подвеска положительно влияет на устойчивость и управляемость автомобиля, его плавность хода [18].

В зависимых подвесках шаровые шарниры практически не используются, так как левое и правое колесо жестко связаны друг с другом, поэтому используют более простую конструкцию – шкворневое соединение [19].

В случае с независимой подвеской (рисунок 1.1) при наезде на неровность дороги, одно из колес меняет свое положение, а второе - нет, что повышает управляемость, устойчивость и плавность хода автомобиля. Независимые подвески подразделяются в свою очередь на несколько типов:

- подвеска МакФерсона, это подвеска колеса, которая включает в себя один рычаг, стабилизатор поперечной устойчивости, пружину, а так же амортизатор телескопического типа, закрепленного в верхней части к брызговику кузова с помощью упругого шарнира и имеет возможность качаться при перемещении колеса вверх-вниз (рисунок 1.1, а).

- двухрычажная подвеска содержит два шаровых шарнира на колесо (рисунок 1.1, б).

- многорычажная подвеска может содержать три, четыре шаровых шарнира на колесо [20] (рисунок 1.1, в).

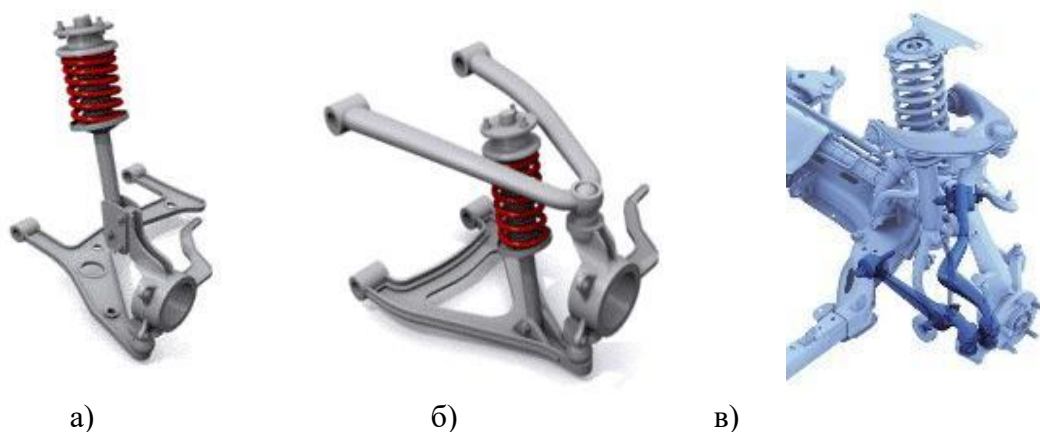


Рисунок 1.1 - Типы независимых подвесок:

а) однорычажная, типа «МакФерсон»; б) двухрычажная; в) многорычажная

В наших научных исследованиях за основу принят массовый автомобиль «Daewoo Nexia» с передней независимой подвеской типа «МакФерсон».

1.2 Анализ технических неисправностей механизмов легковых автомобилей, обеспечивающих безопасность движения

В статистических данных по дорожно-транспортным происшествиям (ДТП) в большинстве случаев указывается, что нарушения водителями ПДД и их ошибки являются весомыми причинами 70 - 75%, неисправность транспортных средств - 2 - 4%, а неудовлетворительные дорожные условия - 4 - 11%.

Неисправность ТС и плохие дорожные условия не попадают в статистику как главная причина ДТП из-за отсутствия в реальных условиях необходимой фиксации и оценки этих условий как на месте ДТП, так и при проведении расследования его обстоятельств. В статистику попадают только наиболее весомые проявления: отрыв колеса и разрушение ходовой части, перемещение груза, отсоединение полуприцепа и прицепа. Однако во всех вышеперечисленных случаях определяют фактическую возможность водителя предотвратить ДТП необходимыми и своевременными действиями. Основное негативное влияние неисправностей ТС и плохих дорожных условий состоит в том, что они провоцируют напряжённое состояние водителя при управлении автомобилем и вызывают быстрое его утомление, что вызывает повышение его ошибок и возникновению ДТП по причинам, связанным с его деятельностью [21].

Неисправности ТС, ставшие причинами ДТП классифицируются по механизмам и узлам:

- 1) тормозная система - 20-50%, для различных типов ТС;
- 2) ходовая часть, включая шины - 10-30%;
- 3) рулевой привод - 10-15%;
- 4) световая сигнализация и освещения - 10% [22].

Исследования, проводимые для определения причинно-следственной связи между неисправностью транспортного средства и произошедшим дорожно-транспортным происшествием, показали, что:

- неисправность не является весомой причиной автомобильных аварий. От 66 до 89% ДТП происходит с технически исправными транспортными средствами;
- в большинстве случаев водитель имеет возможность обнаружить имеющуюся техническую неисправность перед началом движения;
- на неисправности, которые водитель не в состоянии определить перед началом движения, приходится не более 3-5%. Это, в большинстве случаев, скрытые дефекты в узлах,

техническое состояние которых может быть определено только после демонтажа и разборки [23].

Одними из основных критериев определения работоспособности ТС являются устойчивость и управляемость [24]. Анализ дорожно-транспортной аварийности в регионах России показал (рисунок 1.2), что основными факторами, определяющими наступление ДТП являются технические неисправности рулевого привода, тормозных механизмов и ходовой части автомобиля.

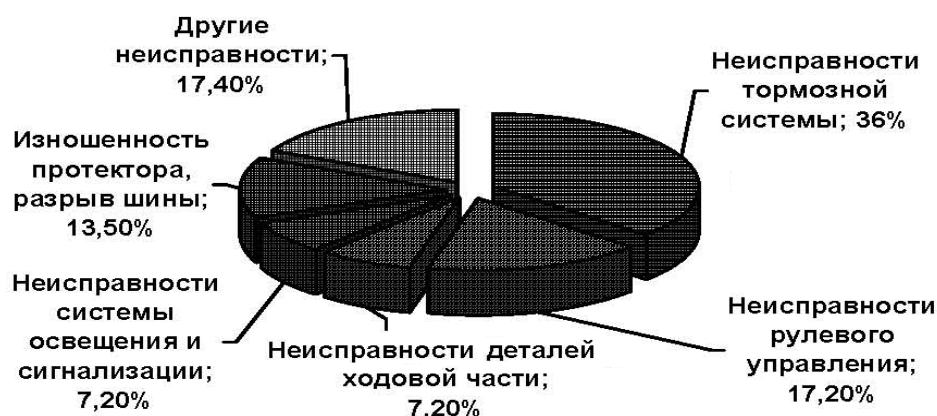


Рисунок 1.2 - Диаграмма видов технических неисправностей автотранспортных средств, приводящих к ДТП

Для повышения устойчивости и управляемости автомобилей, необходим анализ влияния всех систем автомобиля на безопасность движения, выделить менее надежные, для дальнейшего совершенствования их конструкции и создать высокоэффективную систему обеспечения и сохранения работоспособности [25].

Анализ надежности элементов рулевого механизма и подвески передних колес у переднеприводных автомобилей, выполненный в работе [26] показал, что на углы установки передних колес влияют в первую очередь дефекты шарнира рулевых тяг и шарового шарнира рычага подвески с подшипниковым узлом верхней опоры телескопической амортизационной стойки.

Проведенный экспертный опрос показал, что основное влияние на управляемость устойчивость и безопасность автомобиля оказывают углы схождения, развала, а так же углы продольного наклона оси поворота колеса [26]. При анализе динамики изменения угла продольного наклона оси поворота колеса при эксплуатации автомобиля с наработкой от 0,2 до 30000 км определено перемещение значений угла в отрицательный диапазон (рисунок 1.3). При пробеге 15000 км угол продольного наклона оси поворота получает резко отрицательные значения, в результате чего значительно снижается устойчивость автомобиля. На рисунке 1.3

показано заметное расхождение углов наклона правого и левого колес, это в значительной степени оказывает влияние на устойчивость и управляемость автомобиля, начинается значительный увод автомобиля при замедлении и ускорении.

Уменьшение числа транспортных средств эксплуатируемых в предотказном состоянии является одним из важных направлений в снижении высокой дорожно-транспортной аварийности на дорогах России. Для решения данной проблемы используется стандарт, устанавливающий методику и порядок проведения анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (отказов) технических объектов и процессов их производства, а также доработки этих объектов и процессов по результатам проведенного анализа [27]. Разработка высокоэффективной системы оценки работоспособности транспортных средств, решит проблему недостаточного контроля их фактического технического состояния и прогнозирования имеющейся безопасной наработки [28].

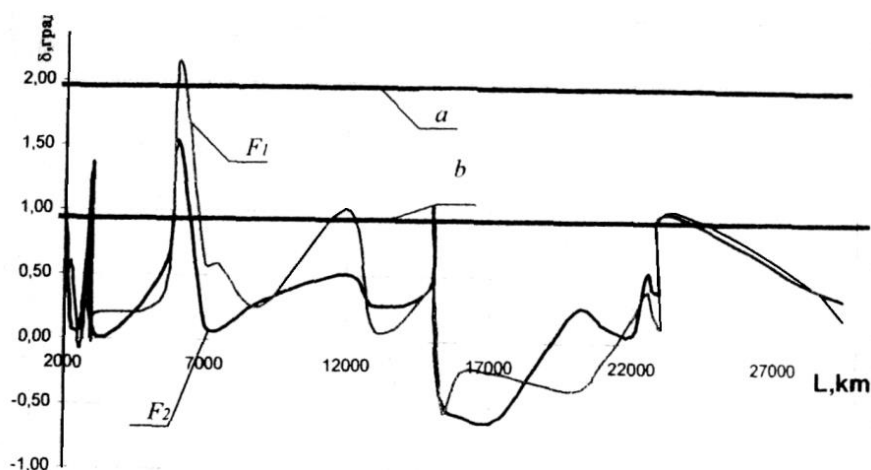


Рисунок 1.3 - График зависимости изменения углов продольного наклона оси поворота колес от наработки автомобиля:

$F1$ и $F2$ – процесс изменения углов для левого и правого колес соответственно, $\{a, b\}$ – зона номинальных величин углов установки колес

1.3 Применение шаровых шарниров в подвеске легковых автомобилей

Шаровые шарниры, устанавливаемые в передней подвеске автомобиля (рисунок 1.4), представляют собой ответственные сопряжения, это связано с тем, что они воспринимают в значительные усилия во всех плоскостях: вертикальные – от массы автомобиля, продольные и поперечные – при торможении, ускорении и при поворотах. Надежность шарниров оказывает непосредственное влияние на безопасность движения автомобиля [29].



Рисунок 1.4 - Различные варианты конструкций шаровых шарниров используемых в подвесках автомобилей

1.3.1 Конструкция шаровых шарниров

Шаровые шарниры состоят из следующих элементов:

- корпус шарового шарнира – является базовой деталью, предназначен для размещения и фиксации остальных элементов шарового шарнира, а также передачи усилий от шарового пальца к элементам подвески или рулевого управления [30];

- шаровый палец – основной рабочий элемент шарового шарнира предназначен для передачи усилий от одних элементов подвески к другим с компенсацией их взаимного перемещения в различных плоскостях путем вращения шаровой головки пальца в корпусе шарнира [31] (рисунок 1.5);

- вкладыш шарового пальца является подшипником скольжения – предназначен для уменьшения трения при вращении головки шарового пальца и продления ресурса шарового пальца [32];

- защитный чехол – предназначен для защиты пары трения вкладыш – головка шарового пальца от попадания воды, грязи, абразивных частиц, таким образом, является незначительным, но очень важным элементом шарового шарнира, от целостности которого зависит ресурс шарнира в целом [33, 34];

- смазка – предназначена для уменьшения трения в паре вкладыш – головка шарового пальца.

В качестве полимерной матрицы композиционного материала для заполнения пространства между вкладышем и корпусом могут быть использованы, например, полиамид, полиимид, полиэфир, полиэтилен или полибутадиентерафтолат (рисунок 1.5) [29, 30 - 58].

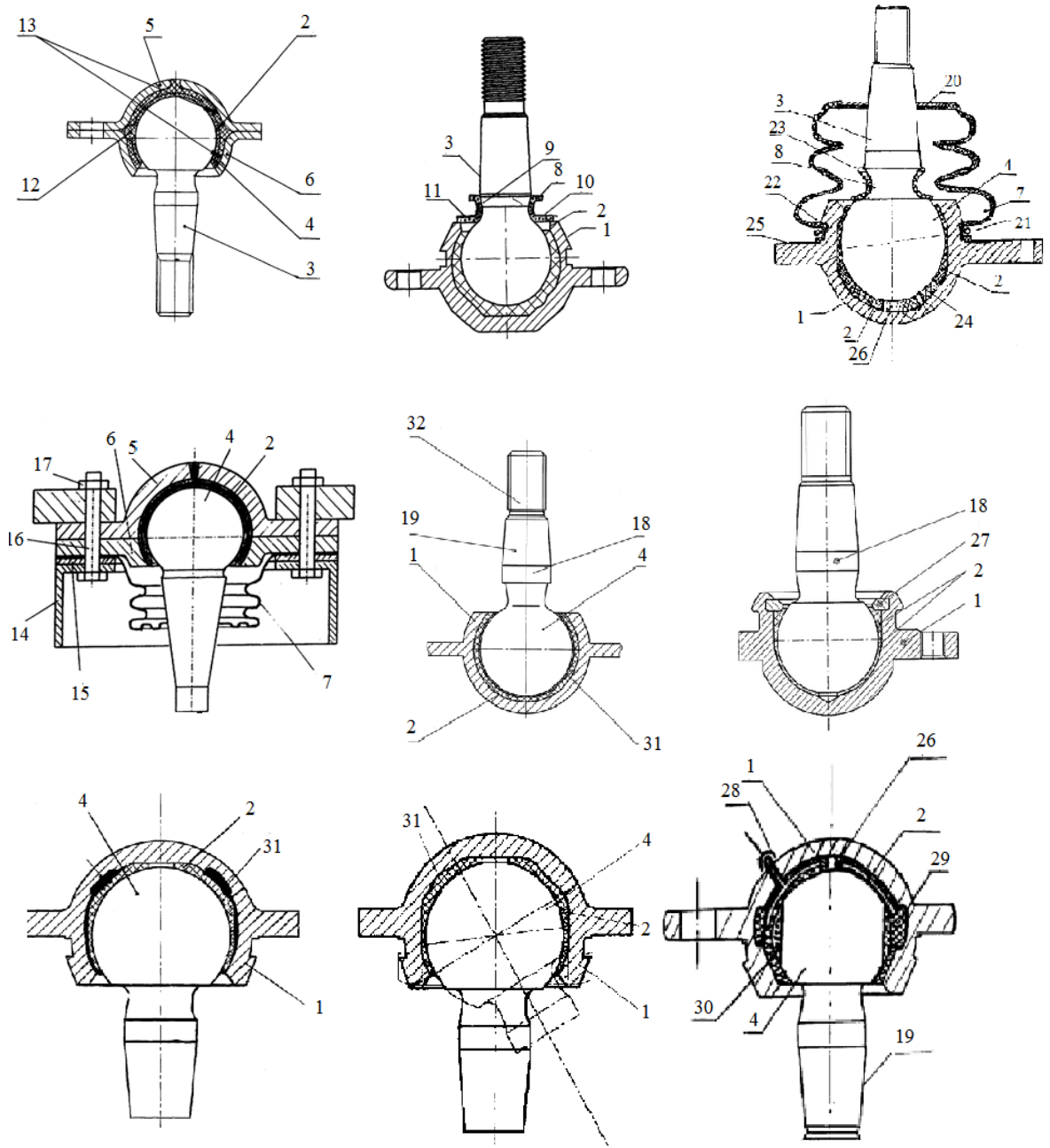


Рисунок 1.5 - Устройство шаровых шарниров:

1 - монолитный корпус, 2 - полимерный вкладыш, 3 - палец, 4 - сферическая головка, 5 - верхний корпус, 6 - нижний корпус, 7 - защитный чехол, 8 - галтель шарового пальца, 9 - верхняя часть конусной части пальца, 10 - горизонтальный буртик, 11- уплотняющая втулка, 12 - слой термоотверждаемого клеевого состава, 13 - термоотверждаемый наполнитель, 14 - соединяющий элемент, 15 - прокладка, 16 - соединяющий болт, 17 - гайка, 18 - цилиндрическая часть пальца, 19 - коническо-цилиндрический хвостовик, 20 - пластина жесткости, 21 - пружинное кольцо, 22 - кольцевая канавка, 23 - съемная уплотнительная втулка, 24 - ребро жесткости вкладыша, 25 - присоединительный фланец, 26 - сквозное отверстие, 27 - стопорное устройство, 28 - датчик выработки, 29 - выточка в гнезде корпуса, 30 - сегмент сопряжения, 31 - выступы на вкладыше, 32 - резьбовая часть пальца

1.3.2 Классификация шаровых шарниров

По принципу технического обслуживания шаровые шарниры подразделяются на шарниры, требующие технического обслуживания в процессе эксплуатации (рисунок 1.6) и шарниры, не требующие такого обслуживания (самосмазывающиеся) (рисунок 1.4).



Рисунок 1.6 - Пример шарового шарнира требующего технического обслуживания

Шаровые шарниры подразделяются в зависимости от используемого механизма, это могут быть шарнирные головки, сферические подшипники скольжения, наконечники гидро- и пневмоцилиндров (рисунок 1.7) [59-63].

Шаровые шарниры также используются в изготовлении протезов тазобедренного и коленного сустава человека [14,15]



Рисунок 1.7 - Шарнирные наконечники гидро- и пневмоцилиндров

1.4 Анализ видов повреждений шаровых шарниров

Конструкция шарового шарнира должна обеспечивать угловую подвижность в двух плоскостях, при этом осевые силы воспринимаются через полимерный вкладыш сферической поверхностью пальца.

Зазоры в сопряжениях шарниров не предусмотрены, а при их производстве это труднодостижимая задача. Собранные шарниры точно обжимают, что позволяет достичь рекомендуемого натяга в сопряжении, который проверяется в технологическом процессе при производстве шарниров путем определения моментов вращения и качания пальца относительно корпуса [64]. В связи с этим необходимо повышение качества оценки величины осевого зазора в рабочих парах шарниров, с целью численного определения величины осевого зазора с погрешностью не более 0,09 мм.

Шаровые пальцы испытывают при эксплуатации знакопеременные многоцикловые нагрузки, что приводит к снижению ресурса пальца за счет абразивного износа головки пальца и усталостному износу пальца в сечении перехода сферической части в коническую шарового пальца (рисунок 1.8, 1.9).

Абразивный износ и коррозия шарового пальца и корпуса шарового шарнира, (рисунок 1.8 а, б, г). Причиной является повреждение защитного чехла, потеря герметичности шарового шарнира, проникновение воды, грязи и абразивных частиц между парой трения палец-вкладыш. Признаки проявления: визуально - по повреждению защитного чехла и наличию на нем смазки и грязи, при движении автомобиля - по посторонним стукам и звукам, ухудшению управляемости автомобиля. Абразивный износ вкладыша, коррозия корпуса шаровой опоры (рисунок 1.8 в); абразивный износ шарового пальца в виде радиальных канавок на сферической поверхности (рисунок 1.8 д, е); Повышение температуры, вызывающее текучесть и преобразование молекул полимера в газообразное состояние в поверхностных слоях при движении пальца вокруг вкладыша из-за трения - деструкция [65] (рисунок 1.8 ж). Причиной является длительное движение по плохим дорогам с высокой скоростью, а также нарушение технологии изготовления вкладыша, низкое качество материала для изготовления вкладыша. Признаки проявления: при движении автомобиля - по посторонним стукам и звукам, ухудшению управляемости автомобиля. Абразивный износ сферической головки и усталостный износ в сечении перехода сферической части в коническую шарового пальца (рисунок 1.8 з). Усталостный износ шейки шарового пальца возникает в результате превышения срока эксплуатации шарового шарнира и при нарушении технологии изготовления шарового пальца (брак).



Рисунок 1.8 - Элементы шаровых шарниров бывших в эксплуатации:
а, б – коррозия шарового пальца и корпуса шарового шарнира, абразивный износ шарового пальца; в – абразивный износ вкладыша, следы коррозии на нем, коррозия корпуса шарового шарнира; г - коррозия шарового пальца и корпуса шарового шарнира, абразивный износ шарового пальца; д, е - коррозия шарового пальца, абразивный износ шарового пальца в виде радиальных канавок на сферической поверхности; ж – деstrukция; з – абразивный износ сферической головки и усталостный износ в сечении перехода сферической части в коническую шарового пальца.

Главным фактором выхода из строя шарового шарнира является износ сопряжения – «вкладыш – головка шарового пальца», что приводит к увеличению осевого зазора h . Процесс износа определяется некоторыми факторами и, в частности, зависит от условий трения [9].

Для анализа видов повреждений использовались 30 шаровых шарниров с различной величиной осевого зазора и другими дефектами (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Дефекты исследуемых образцов шаровых шарниров

Испытательный образец	Величина осевого зазора, мм	Степень износа	Дефекты
1	2	3	4
№1	0,11	1,6 %	отсутствуют
№2	0,18	13,3%	отсутствуют
№3	0,21	18,3 %	отсутствуют
№4	0,21	18,3 %	отсутствуют
№5	0,23	21,7 %	коррозия корпуса
№6	0,24	23,3 %	отсутствуют
№7	0,28	30 %	коррозия корпуса и пальца
№8	0,29	31,7 %	растрескивание чехла
№9	0,30	33,3 %	разрывы чехла
№10	0,31	35 %	разрывы чехла, коррозия сферической и коническо-цилиндрической части пальца
№11	0,33	38,3 %	коррозия корпуса и коническо-цилиндрической части пальца
№12	0,36	43,3 %	деформация и коррозия корпуса
№13	0,39	48,3 %	отсутствуют
№14	0,46	60 %	коррозия корпуса и пальца, растрескивание чехла
№15	0,54	73,3 %	отсутствуют
№16	0,59	81,7%	коррозия резьбовой части пальца
№17	0,64	90 %	нарушение герметичности защитного чехла
№18	0,68	96,7 %	коррозия корпуса
№19	0,68	96,7 %	разрывы чехла, коррозия сферической и коническо-цилиндрической части пальца
№20	0,72	103,3 %	люфт пальца, разрывы, растрескивание чехла
№21	0,74	106,7 %	люфт пальца, коррозия корпуса и коническо-цилиндрической части пальца
№22	0,81	118,3 %	люфт пальца, коррозия корпуса
№23	0,84	123,3 %	люфт пальца, разрывы чехла
№24	0,86	126,7 %	люфт пальца, разрывы чехла
№25	0,88	130 %	люфт пальца, коррозия корпуса и коническо-цилиндрической части пальца

1	2	3	4
№26	0,89	131,7 %	люфт пальца, коррозия сферической части пальца
№27	0,91	135 %	люфт пальца, деформация корпуса
№28	0,92	136,7 %	люфт пальца
№29	0,94	140 %	люфт пальца, коррозия корпуса
№30	0,96	143,3 %	люфт пальца, разрывы чехла

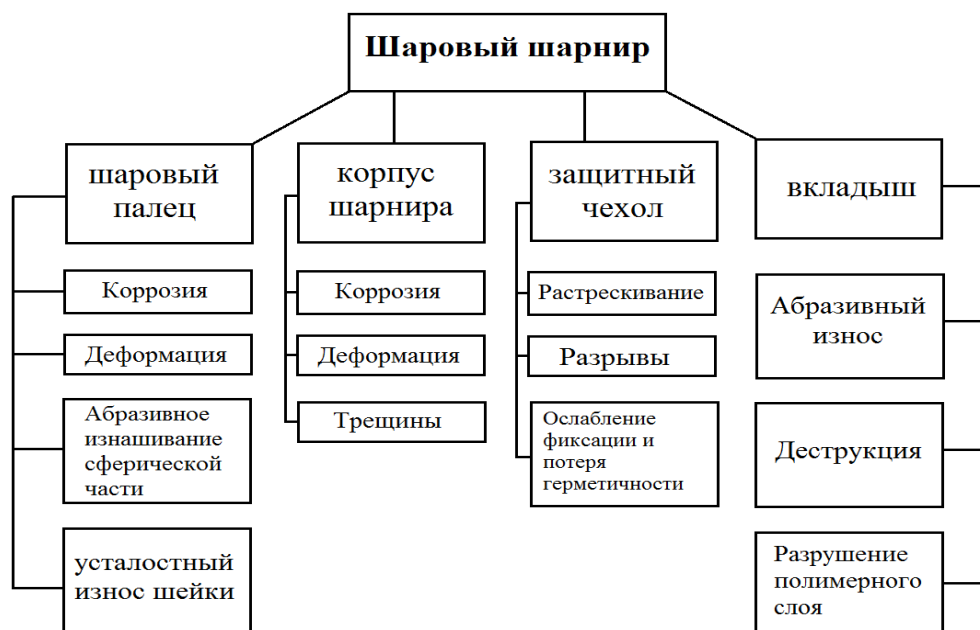


Рисунок 1.9 - Виды повреждений шаровых шарниров

Исследования образцов шаровых шарниров, демонтированных из подвесок автомобилей, в результате достижения предельного состояния, указывают на основную причину отказов – разрушение полимерного слоя [65].

Деформация шарового пальца и корпуса шарового шарнира – изменение формы и геометрических размеров пальца (корпуса шарового шарнира). Причиной являются значительные (превышающие расчетные) знакопеременные нагрузки, возникающие в шаровом шарнире при проезде больших неровностей на дороге с высокой скоростью. Признаки проявления – изменение углов установки колес, неравномерный и ускоренный износ шин, ухудшение управляемости автомобиля.

Повреждения защитного чехла: растрескивание; причинами является качество изготовления, превышение срока службы чехла, попадание на поверхность чехла агрессивных веществ (растворители, бензин, кислоты и т. д.), разрывы; причиной является воздействие на поверхность чехла твердых, острых, прочных инородных тел (ветки, проволока, камни),

ослабление фиксации и потеря герметичности связаны с ослаблением фиксирующих элементов закрепляющих чехол – хомуты, клей и т. д.

Признаки проявления для всех повреждений проявляются визуально - по повреждению защитного чехла и наличию на нем смазки и грязи [66, 67].

1.5 Методы и способы испытаний и диагностирования шаровых шарниров

Работоспособность шарниров определяется величиной зазора в их сопряжениях. Превышение допустимых норм этих зазоров определяется водителем субъективно по появлению вибраций на рулевом колесе, стуков и посторонних звуков от подвески и ходовой части автомобиля, по потере управляемости автомобиля при движении, однако эти признаки также появляются и при неисправности других элементов ходовой части и рулевого управления (сайлент-блоки, подшипники, рулевые тяги и их наконечники, амортизаторы и шарниры их крепления). Выше представленные факты приводят к снижению долговечности работы подвески, повышенному износу шин и подшипников колес. Происходит понижение активной безопасности автомобиля [68].

Одной из задач данного исследования является разработка способа диагностирования шаровых шарниров с различной степенью износа, предоставляющей наиболее достоверную информацию об их техническом состоянии [69].

Испытания шаровых шарниров, как и любых других устройств, механизмов и элементов подразделяются на несколько типов (рисунок 1.10).

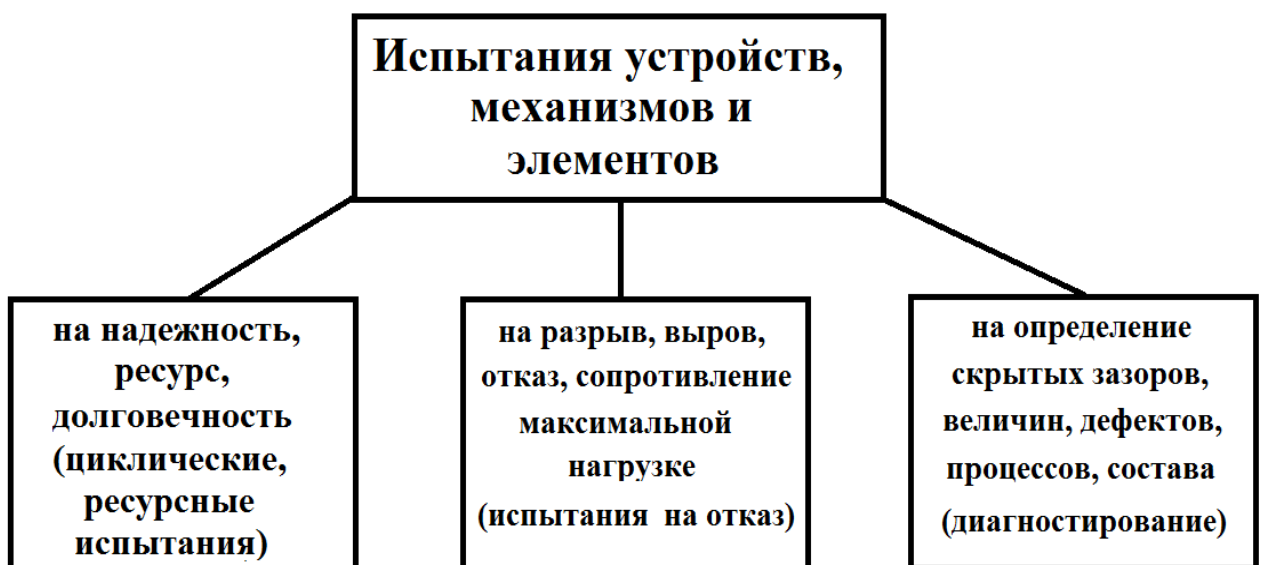


Рисунок 1.10 - Типы испытаний устройств, механизмов и элементов

Для прогнозирования, а так же определения установленного эксплуатационного ресурса шаровых шарниров, а также для определения их технического состояния, автомобильные предприятия проводят различные ускоренные дорожные, лабораторные и стендовые испытания и исследования подвесок. Все существующие способы испытания и диагностирования шаровых шарниров подвески с целью выявления данных о техническом состоянии и долговечности условно разделяются на групп представленные на рисунке 1.11 [70].

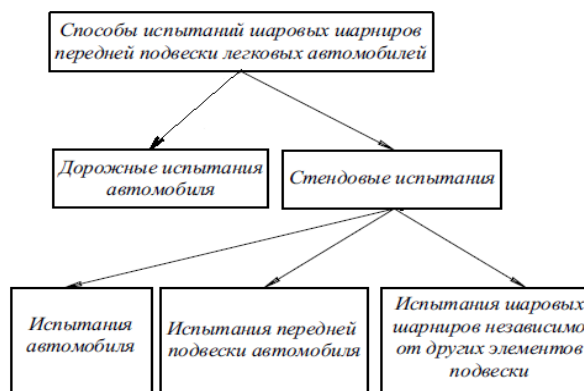


Рисунок 1.11 - Способы испытаний и диагностирования шаровых шарниров подвески автомобилей

Иногда получение достоверной информации при проведении дорожных исследований на долговечность и надежность представляется наиболее рациональным, поскольку обеспечивается наибольшее приближение режимов нагружения при испытании к эксплуатационным режимам. Однако выше представленный метод при всей своей простоте плана испытаний понятности, и сопоставимости результатов имеет недостатки, такие как высокая стоимость, сложность и длительность реализации [71].

Наиболее эффективным способом исследования шаровых шарниров является его воспроизведение в лабораторных условиях. При этом точность воспроизведения процесса, определяет полноту и достоверность информации [10].

Испытания передней подвески в сборе упрощают испытания шаровых шарниров и позволяют значительно снизить дополнительные трудности, возникающие при создании необходимых условий проведения испытаний, приближенным к реальным условиям эксплуатации. Это позволяет получить результаты с высокой степенью достоверности. Недостаток таких испытаний – невозможность получения достоверной информации об изменении параметров отдельных элементов подвески таких как шаровые шарниры и др. Отрицательным моментом являются также неоправданные затраты (энергозатраты, временные, материальные, и т.д.) на испытание подвески в целом в условиях, когда необходимо получить

достоверную информацию о характере изменения параметров определенного элемента подвески [72].

Для получения необходимой информации об износе или о техническом состоянии шаровых шарниров необходимы стендовые лабораторные исследования. Испытательный стенд, используемый для испытания шаровых шарниров, должен полностью воспроизводить движения и нагрузки, приходящиеся на шарниры в реальных условиях.

Кроме того, что бы иметь возможность в полной мере доверять результатам стендовых испытаний, необходима их проверка данными, полученными в реальных условиях [4].

В данной диссертационной работе был предложен новый способ испытаний и диагностирования шаровых шарниров подвески автомобилей - испытания и диагностирования шарниров совместно с другими элементами подвески. Данный способ был обусловлен конструкцией испытательного стенда [73].

1.6 Обзор конструкций стендов для испытаний шаровых шарниров

Стенд для испытаний шаровых шарниров или рулевых тяг автомобилей на долговечность с имитацией эксплуатационных нагрузок и движений [74]. Стенд включает в себя опорные элементы для крепления шарового пальца, силовую раму, два силовых привода, два механизма для получения рабочих движений - качания корпуса и поворота пальца (рисунок 1.12).

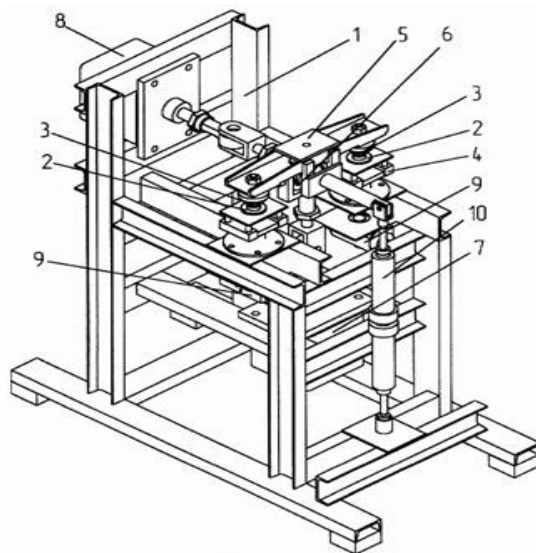


Рисунок 1.12 - Стенд для испытания шаровых шарниров на долговечность:

1 - рама, 2 - фланцы, 3 - шарниры, 4 - поворотные опоры, 5 – траверса качения, 6 - узел развязки усилий, 7 - силовые приводы продольного воздействия, 8 - силовые приводы поперечного воздействия, 9 - привод поворота шарового пальца, 10 - привод качения траверсы

Недостатком данного испытательного стенда является необходимость подключения к пневмолинии со сжатым воздухом для его работы.

Известен стенд для испытания поворотных кулаков транспортных средств, включающий в свою конструкцию основание с закрепленными на нем беговыми барабанами. Недостаток конструкции состоит в том, что предложенный стенд не имеет возможности силового нагружения при испытаниях шаровых опор.

Имеется стенд, направленный на увеличение диапазона нагрузок, определение наработки шарового шарнира и имеющий возможность создавать нагрузки, соответствующие реальным условиям эксплуатации автомобиля [75] (рисунок 1.13).

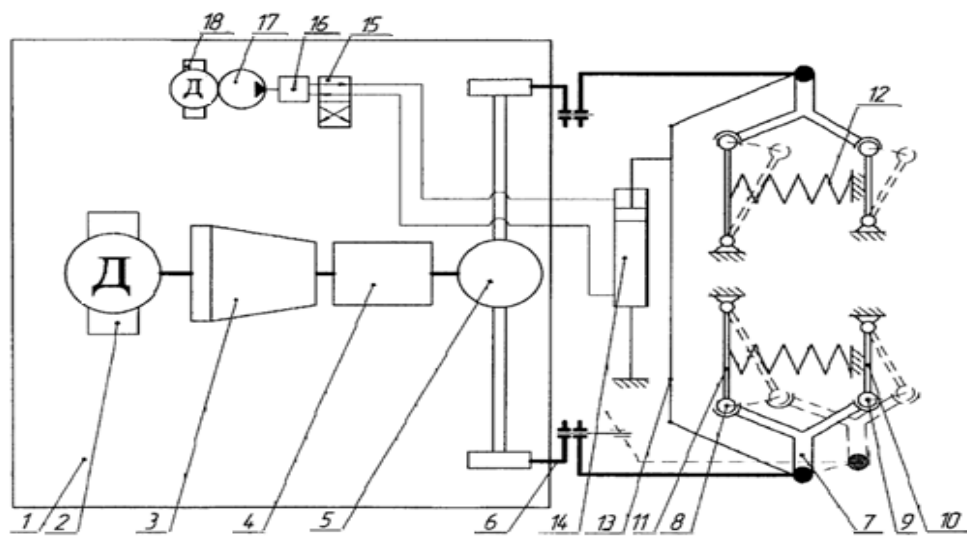


Рисунок 1.13 - Стенд для испытания шаровых опор рулевых тяг:

1 - станина, 2 - электродвигатель, 3 - коробка передач, 4 - коробка передач, 5 - мост, 6 - кривошипно-шатунный механизм, 7 - поворотный кулак, 8, 9 - шаровые опоры, 10 - верхний поперечный рычаг, 11 - нижний поперечный рычаг, 12 - пружина, 13 - поперечная тяга, 14 - гидроцилиндр двойного действия, 15 - распределитель золотникового типа, 16 - блок автоматического управления, 17 - гидронасос, 18 - электродвигатель

Данный стенд может создавать перемещение поворотного кулака, аналогично реальным условиям эксплуатации автомобиля, создавая тем самым нагрузку на шаровые шарниры согласно с реальными условиями эксплуатации.

На рисунке 1.14 представлен стенд ускоренных испытаний шаровых опор на отказ от ударной нагрузки и материала шаровых опор ударным воздействием [76]. Недостатком данного стенда является ограниченность его применения. Он может быть использован только для испытаний на отказ (рисунок 1.10).

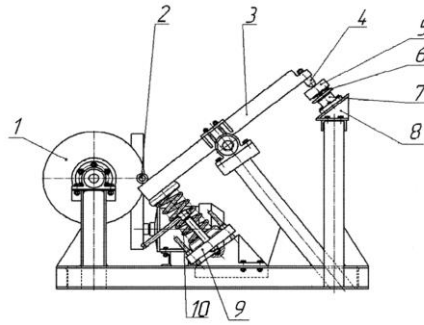


Рисунок 1.14 - Стенд ускоренных испытаний шаровых опор на отказ от ударной нагрузки и материала шаровых опор ударным воздействием:

1 - маховик, 2 - ролик, 3 - коромысло, 4 - боек, 5 - наковальня, 6 - шаровая опора, 7 - подставка, 8 - упор, 9 - механизм предварительного сжатия пружины, 10 - пружина.

1.7 Существующие методики определения технического состояния шаровых шарниров подвески легковых автомобилей

К внешним признакам износа шаровых шарниров следует отнести стук при проезде неровностей, увеличение усилия на рулевом колесе, посторонние звуки в передней части машины при повороте руля, увод в стороны при движении автомобиля в прямолинейном направлении, неравномерный износ шин и др. [77].

При техническом обслуживании проверка состояния шаровых шарниров, должна производиться в следующем порядке:

1. Визуальная проверка состояния защитных чехлов, пальца и корпуса шаровых шарниров подвески, с целью выявления механических повреждений.
2. Проверка величины осевого зазора в шарнире.

1.7.1 Механические способы определения технического состояния шаровых шарниров подвески легковых автомобилей

В двухрычажных подвесках проверяются зазоры в верхних и нижних шаровых шарнирах. Зазоры для автомобилей семейства ВАЗ 2101-2107 проверяются с помощью приспособления 02.8701.9500 (рисунок 1.15).

Если $h \geq 11,3$ мм (рисунок 1.15 б), то шарнир необходимо снять с автомобиля и тщательно осмотреть. Корпус шарнира не должен иметь деформаций, трещин, а смазке не должна содержать – посторонних частиц. Присутствие в смазке посторонних частиц, дефектов на корпусе шарнира, а также значение $h \geq 11,8$ мм – показывает необходимость в замене детали [78].

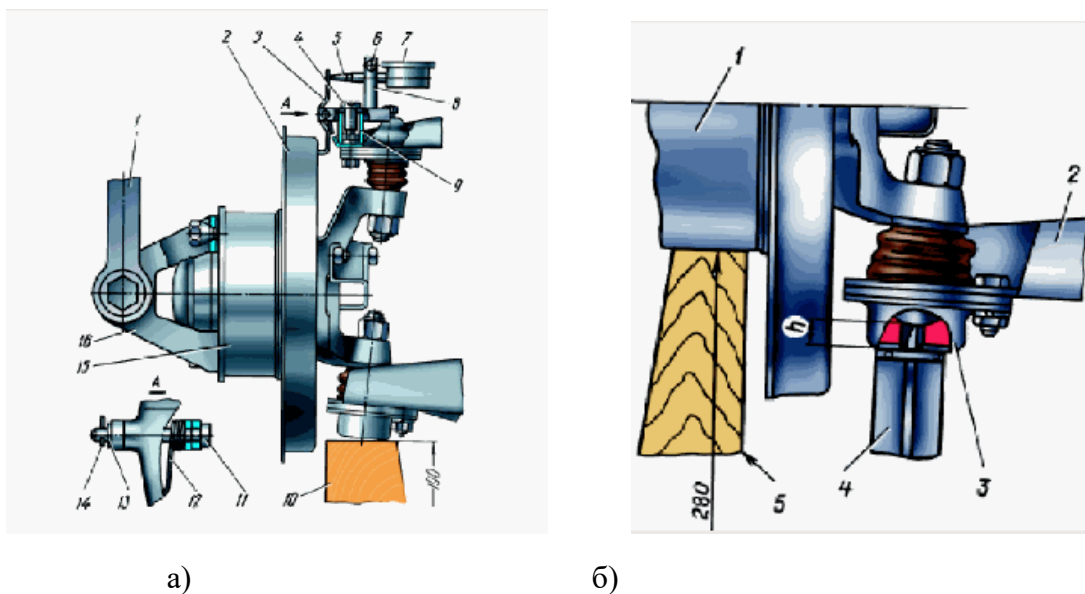


Рисунок 1.15 - Схема проверки шаровых шарниров механическим способом:

а) замер зазора в верхнем шаровом шарнире приспособлением 02.8701.9500:

1 - динамометрический ключ; 2 - защитный кожух тормоза; 3 - рычажок; 4 - винт; 5 - удлинитель индикатора; 6 - болт; 7 - индикатор; 8 - основание; 9 - втулка; 10 - колодка; 11 - ось; 12 - пружина; 13 - шайба; 14 - шплинт; 15 - ступица колеса; 16 – кронштейн;

б) - схема проверки нижних шаровых шарниров: 1 - ступица колеса; 2 - нижний рычаг; 3 - нижний шаровой шарнир; 4 - штангенциркуль; 5 - деревянная колодка

Недостатками данного способа является необходимость установки и регулировки дополнительных приспособлений, низкая точность измерения, связанная с направлением нагрузки в шарнире при проверке, которая не соответствует осевой нагрузке.

Другой способ проверки шаровых опор по значению величин осевого и радиального зазоров осуществляется на диагностическом стенде (приспособлении 02.8701.9502) (рисунок 1.16 а, б).

Если величина радиального зазора превышает 0,7 мм, шарнир необходимо заменить [79]. Аналогично проводится проверка осевого зазора в шарнире, заблаговременно изменив его фиксацию в приспособлении (рисунок 1.16 б).

Недостатком данного способа является необходимость специального диагностического стенда (приспособления), а так же необходимость снятия шарового шарнира с автомобиля для проверки.

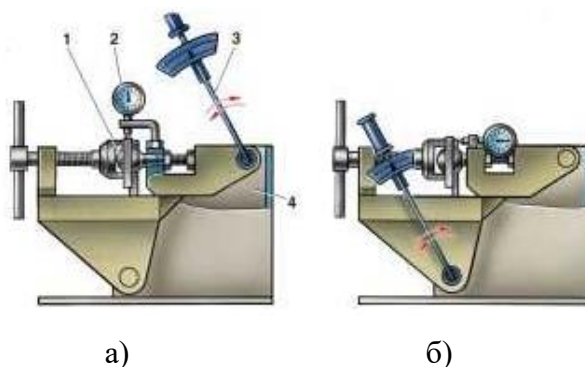


Рисунок 1.16 - Проверка шарового шарнира на приспособлении 02.8701.9502:

а) схема проверки радиального зазора, б) - схема проверки осевого зазора. 1 – шаровой шарнир; 2 – индикатор; 3 – динамометрический ключ; 4 – приспособление 02.8701.9502

Для определения зазоров в шаровых шарнирах в условиях крупных сервисных центров целесообразно применять электрогидравлические детекторы зазоров ходовой части. Такой стенд включает в себя одну или несколько стационарно расположенных платформ с неподвижными плитами, имеющими антифрикционные накладки для предотвращения скольжения колес и подвижных площадок, которые перемещаются вокруг оси штоков гидроцилиндра (рисунок 1.17, а).

Контроль сопряжений в ходовой части производится визуально исполняющим работником с помощью фонаря, встроенного в переносной пульт управления (рисунок 1.17, б).

Управление перемещением площадок производится при помощи нажатия на кнопки, размещенными на переносном пульте управления.

Вышеуказанный способ диагностики обладает существенными недостатками – невозможностью определения численной величины зазора [80, 81].

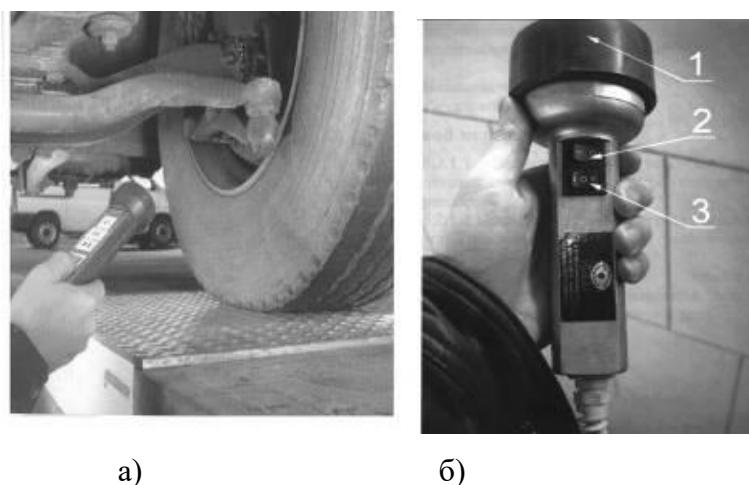


Рисунок 1.17 - Электрогидравлический детектор люфтов ходовой части:

а) рабочая часть детектора зазоров, б) - пульт управления детектором зазоров: 1 - встроенный фонарь; 2 - выключатель фонаря; 3 - выключатель подвижных площадок

1.7.2 Электрические способы определения технического состояния шаровых шарниров подвески легковых автомобилей

Известен способ определения осевого зазора в шаровых шарнирах по электрическим сигналам. При этом вкладыш шарнира отличается тем, что на своей внутренней части он имеет электропроводящую область, а с наружной стороны - выступы, находящиеся в проточках гнезда корпуса и удерживающие его от поворота внутри корпуса. Электропроводящий участок (поз.3) полностью находится внутри диэлектрического материала вкладыша (поз.2) и замыкает электрическую цепь сигнальной лампы только когда выработка вкладыша составит более 50% (рисунок 1.18).

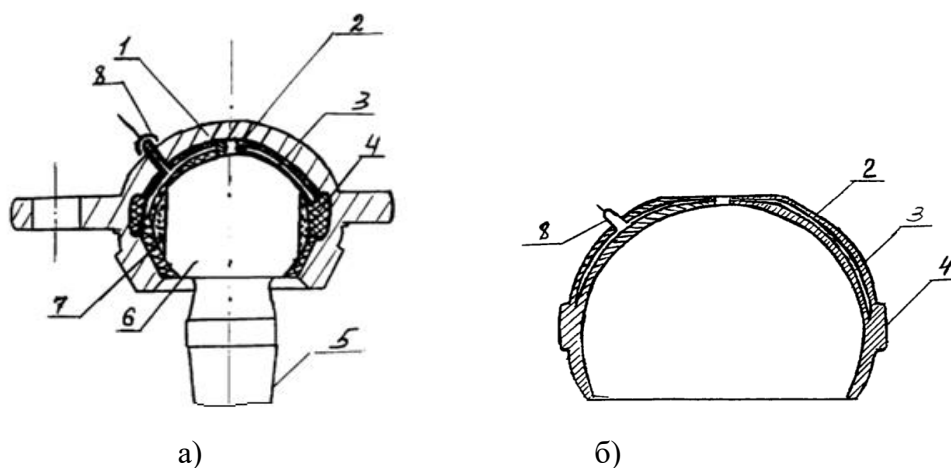


Рисунок 1.18 – Устройство шарового шарнира, со встроенным датчиком контроля выработки и снижения коэффициента трения в сопряжении «головка пальца - вкладыш»:

а) разрезе шарнира, б) разрез вкладыша: 1 - корпус шарнира, 2 – вкладыш из диэлектрического материала, 3 - электропроводящий участок, 4 - выступ вкладыша, 5 - цилиндрическая часть пальца, 6 - сферическая головка пальца, 7 - грани в головке пальца, 8 - электрический контакт

Электропроводящий участок (поз.3) замыкается на корпус (поз. 1) или на шаровый палец (поз. 6) через разъемный контакт (поз. 8) расположенный на корпусе (поз. 1). Технический результат - наличие сигнализации в реальном времени о выработке и уменьшении трения в сопряжении головка пальца - вкладыш, кроме того характерно отсутствие у вкладыша поворота [51].

Недостатком данного способа является невозможность его применения для серийно выпускаемых шаровых шарниров, не содержащих в своей конструкции диагностических элементов.

Выводы по главе

1. Анализ конструкций подвесок легковых автомобилей показал, что 95% автомобилей малого и среднего класса имеют подвеску типа «МакФерсон», содержащая два шаровых шарнира и имеющая наиболее простую и рациональную конструкцию.

2. Анализ надежности элементов передней подвески и рулевого управления автомобилей показал, что на управляемость и безопасность движения в первую очередь влияют неисправности шаровых шарниров рулевого механизма и шаровых шарниров подвески. Уменьшение автомобилей находящихся в эксплуатации в состоянии близком к предотказному является важным фактором для снижения высокой аварийности на дорогах России.

3. Проведен анализ видов повреждений шаровых шарниров. Установлено, что основными видами повреждений шаровых шарниров являются износ полимерного вкладыша (40% образцов), нарушение целостности защитного чехла (32% образцов), износ сферической части пальца (18% образцов).

4. Проведен анализ конструкций и принципа действия стендов для испытания и исследования шаровых шарниров, который выявил ряд существенных недостатков и необходимость в создании новой конструкции стенда, минимизирующей их недостатки.

5. Анализ существующих способов определения технического состояния шаровых шарниров механическим и электрическим способом выявил недостатки, такие как сложность исполнения, низкая точность измерения, высокие затраты времени и материальных средств на диагностирование. Учитывая вышеизложенное, возникает необходимость в разработке нового способа определения технического состояния шаровых шарниров.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕЛИЧИНЫ ОСЕВОГО ЗАЗОРА В ШАРОВЫХ ШАРНИРАХ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ ТИПА «МАКФЕРСОН» ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ВИБРАЦИОННЫМ СПОСОБОМ.

2.1 Параметры определяющие величину осевого зазора в шаровом шарнире

Любой технический объект характеризуется определенным количеством основных параметров, по величине которых можно с высокой достоверностью определить его техническое состояние. Для шаровых шарниров передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля таким параметром, характеризующим его техническое состояние, является осевой зазор h .

Период эксплуатации шарового шарнира с момента установки на автомобиль и до его снятия с автомобиля условно можно разделить на три периода: период приработки, увеличение наработки узла N и выход из строя [10].

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

$$h = f(F_{\text{П}}, F_{\text{Б}}, F_{\text{В}}, N, \mu), \quad (2.1)$$

где h – осевой зазор, м;

$F_{\text{П}}$ – осевые нагрузки, направленные по продольной оси шарового пальца, Н;

$F_{\text{Б}}$ – боковые нагрузки внутри шарового шарнира, Н;

$F_{\text{В}}$ – вертикальные нагрузки внутри шарового шарнира, Н;

N – наработка узла, продолжительность функционирования шарового шарнира в течение определенного промежутка времени. Применительно к шаровым шарнирам, наработка в выражается в километрах пробега автомобиля;

μ – коэффициент трения, определяющий величину трения между сферической частью шарового пальца и полимерным вкладышем, зависит от свойств смазочного материала внутри шарнира.

2.2 Определение нагрузок, возникающих в шаровых шарнирах подвески типа «МакФерсон» на примере автомобиля «Daewoo Nexia»

В шаровых шарнирах передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля возникают нагрузки $F_{\text{П}}$, направление которой соответствует направлению продольной оси автомобиля; $F_{\text{В}}$ – вертикальная нагрузка и $F_{\text{Б}}$ – нагрузка направленная перпендикулярно продольной оси автомобиля в горизонтальной плоскости (рисунок 2.1). Расчет нагрузок

произведен на примере автомобиля «Daewoo Nexia», это необходимо при проектировании стенда для диагностирования и испытания элементов подвески, который должен создавать соответствующие нагрузки в шаровом шарнире, по величине превышающие максимальные нагрузки, возникающие в шаровом шарнире автомобиля при его эксплуатации.

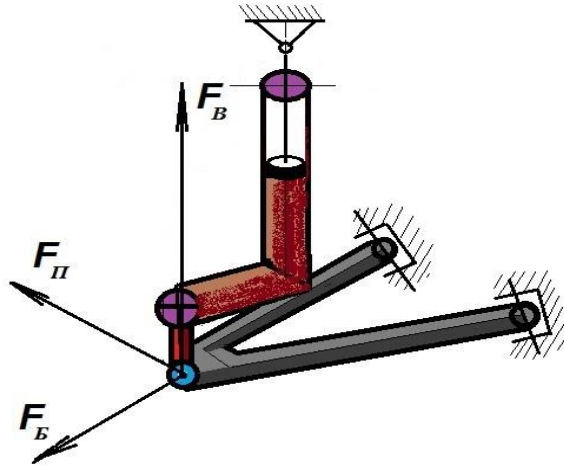


Рисунок 2.1 - Направление сил, действующих на шаровый шарнир в подвеске типа «МакФерсон»

Для расчета передней подвески необходимо сначала определить действующие силы и моменты. Определение сил и моментов основывается в первую очередь на статистических нагрузках от поддресоренных масс автомобиля. При расчете подвески типа «МакФерсон» следует учитывать угол γ_0 установки колеса в поперечной плоскости, угол наклона стойки в поперечной плоскости δ_0 (соответствует поперечному наклону оси поворота колеса) и угол наклона нижнего рычага подвески β [2, 82, 83].

Исходные данные приведены в таблице 2.1 [84]

Таблица 2.1 - Исходные данные для расчета нагрузок в шаровом шарнире передней подвески типа «МакФерсон» для автомобиля «Daewoo Nexia»

№ п/п	Параметр	Обозначение	Величина	Единица измерения
1	2	3	4	5
1	угол установки колеса в поперечной плоскости	γ_0	0	градус
2	угол наклона стойки в поперечной плоскости	δ_0	13	градус
3	угол наклона нижнего рычага подвески	β	2,18	градус
4	масса автомобиля	M_a	1530	кг

1	2	3	4	5
5	ширина шины	-	0,185	м
6	высота профиля шины	-	60	% от ширины
7	посадочный диаметр колесного диска	-	0,35	м
8	рекомендуемое давление в шинах	p	2,0	МПа
9	жесткость шины	c	170000	Н/м
10	разрешенная максимальная масса на переднюю ось	G	7900	Н
11	нагрузки на колесо	N_G	3950	Н
12	боковая сила в пятне контакта колеса с дорогой	$\pm S$	2271,3	Н
13	вес колеса и ступицы	U_R	100-150	Н
14	вес всех неподрессоренных деталей передней подвески	U_V	420	Н
15	угол продольного наклона оси поворота	ε	2	градус
16	угол смещения оси амортизатора относительно оси поворота	α	6	градус
17	Плечо обкатки	$R_{o\text{ ст}}$	-0,07	м
18	расстояние от поверхности дороги до центра шарового шарнира колеса, при статическом положении автомобиля и максимально допустимой нагрузке	d_o	0,17	м
19	тоже при торможении	$d_{o\text{ т}}$	0,163	м
20	угол наклона поперечного рычага при торможении	$\beta_{\text{т}}$	- 6, 75	градус
21	Высота расположения подвески от места крепления штока амортизатора в брызговике автомобиля до поверхности дороги при номинальной нагрузке	$H_{\text{ст}}$	0,82	м
22	тоже при торможении	$H_{\text{ст т}}$	0,73	м
23	длина амортизаторной стойки при статическом номинальном нагружении автомобиля	$(c + o)$	0,67	м

1	2	3	4	5
24	тоже при торможении	$(c + o)_T$	0,62	м
25	Длина рычага	L_p	0,355	м
26	ход подвески	S	0,158	м
27	статический радиус шины под нагрузкой	r_{cm}	0,2843	м
28	тоже при торможении	r_{cmT}	0,28229	м
28	наружный диаметр шины без нагрузки	D	0,5776	м
29	осадка шины или статический прогиб	t_{uu}	$4,47 \cdot 10^{-4}$	м
30	тоже при торможении	tt_{uuT}	0,0065	м
31	расстояние от центра тяжести до задней оси автомобиля	b	1,33	м
32	высота центра тяжести автомобиля	h	0,703	м

Для расчета используем стандартную шину размерности 185/60 R14 автомобиля «Daewoo Nexia». Эта шина, при рекомендуемом в ней давлении $p = 2,0$ МПа, имеет жесткость $c = 1,7$ кН/см [82]. Учитывая разрешенную максимальную массу на переднюю ось для автомобиля «Daewoo Nexia» $G = 7,9$ кН и, соответственно, нагрузки на каждое колесо $N_G = 3950$ Н. [83] имеем:

$$\frac{c}{N_G} = \frac{1,7}{3,95} = 0,43 \text{ см}^{-1}.$$

Верхнее значение нормальной силы, составляет 6320 Н, нижнее значение нормальной силы 1580 Н.

Боковая сила $\pm S$, действующая в пятне контакта колеса с дорогой в противоположенных направлениях, отличается от меняющейся только по величине (по причине наличия неровностей на дороге), и постоянной по направлению вертикальной силы N .

Значение боковой силы, составляет 2271,3 Н [2].

Для расчета сил действующих на элементы подвески рассматриваем условия, при которых сохраняется равновесие в узлах передней подвески. Величина и направление этих сил задают напряжение и тип нагрузки для отдельных элементов. Расчет производится с учетом следующих сил, действующих в пятне контакта колеса с дорогой: продольная L , вертикальная N , боковая S .

Значение сил S и N зависит от качества дорожного покрытия. Продольная сила L зависит от момента создаваемого на рассматриваемом колесе при торможении автомобиля. Для

нахождения среднего значения величины сил, действующих на шаровые шарниры при движении автомобиля, необходимо проанализировать два варианта: при равномерном прямолинейном движении и при торможении автомобиля с максимальным замедлением.

Для расчета сил при равномерном прямолинейном движении, действующих на шаровые шарниры необходимо учесть что, колесо, поворотный кулак колеса, амортизационная стойка со штоком при анализе статического равновесия представляют собой единое целое по отношению к точке А крепления к брызговику и нижнему рычагу подвески, закрепленному в точке В (рисунок 2.2) [2].

$$B_y = \frac{N'_V [R_{ocm} + d_o \operatorname{tg} \delta_o + (c + o) \sin \delta_o]}{(c + o) [\cos \delta_o \operatorname{ctg} \beta - \sin \delta_o]}, \quad (2.2)$$

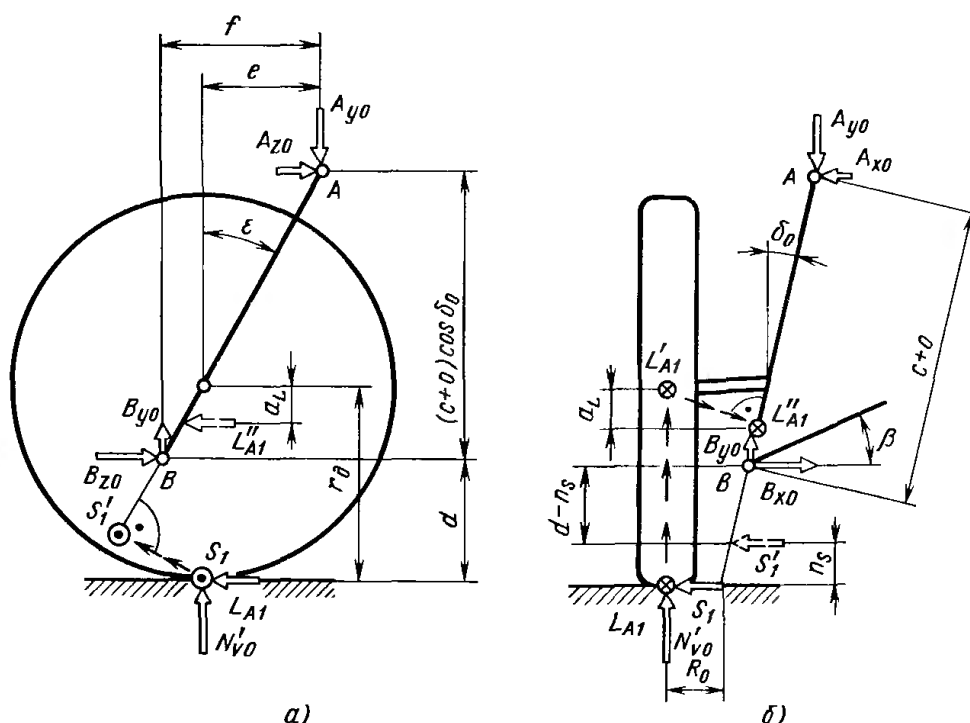


Рисунок 2.2 – Схема действия сил в подвеске необходимые для нахождения сил, действующих в направлении оси Z:

a – сбоку, б – сзади

где

$$N'_V = N_V - (U_V/2). \quad (2.3)$$

N_V приравнивается к половине максимальной нагрузки на переднюю ось, т.е. $G_V/2$. Для расчета цапфы колеса из значения N_{V0} следует вычесть массу колеса со ступицей $U_R = 100 \dots 150$ Н. При анализе остальных элементов передней подвески применяют половину массы неподрессоренных элементов U_V . К неподрессоренным элементам помимо колеса со ступицей можно отнести амортизационную стойку, тормозной диск, суппорт и колодки, рычаг с

шарниром и внешний шарнир равных угловых скоростей. Примерный вес всех неподрессоренных деталей передней подвески $U_V=420$ Н [2].

$$N'_V = 3950 - 210 = 3740 \text{ Н}$$

Исходные данные для расчета нагрузок в шаровом шарнире передней подвески типа «МакФерсон» для автомобиля «Daewoo Nexia»:

- угол поперечного наклона оси поворота $\delta_o = 13^\circ$ необходим для перемещения несущего шарнира b в область колеса и позволяет получить отрицательное плечо обкатки и уменьшить отрезок b ;

- угол продольного наклона оси поворота $\varepsilon = 2^\circ$ необходим для возврата управляемых колес в нейтральное положение после их поворота.

- угол $\alpha = 6^\circ$ смещения оси амортизатора относительно оси поворота необходим для получения отрицательного плеча обкатки;

- плечо обкатки $R_{o\text{ст}} = -7$ мм приводит к снижению плеча действия вертикальных усилий, сил при замедлении и ускорении на амортизаторную стойку;

- расстояние $d_o = 0,17$ м (170 мм) от поверхности дороги до центра шарового шарнира колеса, определяется при статическом положении автомобиля и максимальной нагрузке. При замедлении автомобиля $d_{o\text{т}} = 0,163$ м (163 мм);

- угол наклона поперечного рычага $\beta = 2^\circ 15'$ принимается с учетом, что при движении автомобиля при минимальных колебаниях подвески на ровной дороге автомобиль будет иметь максимально устойчивое положение при колее передних колёс 1400 мм. При замедлении $\beta_{\text{т}} = -6^\circ 45'$;

- высота подвески от точки крепления штока амортизатора на брызговике крыла автомобиля до поверхности дороги при номинальной нагрузке на ось равна $H_{\text{ст}}^n = 820$ мм (без нагрузки $H_{\text{ст}}^n = 860$ мм.) При замедлении $H_{\text{ст\т}}^n = 730$ мм [84];

- расстояние $(c + o)$, определяющее длину амортизаторной стойки при номинальном статическом нагружении автомобиля принимаем равной 670 мм. При замедлении 620 мм;

- длина рычага ВД принимаем равной $L_p=355$ мм;

- ход подвески $S = 158$ мм (рисунок 2.1).

$$B_x = B_y \operatorname{ctg} \beta; \quad (2.4)$$

$$B_z = \frac{N_V [(c + o) \cos \delta_o + d_o - r_{cm}] \operatorname{tg} \varepsilon + B_y (c + o) \cos \delta_o \operatorname{tg} \varepsilon}{(c + o) \cos \delta_o}; \quad (2.5)$$

Получаем: $B_y = 4,6$ Н; $B_x = 1\,049,3$ Н; $B_z = 107,9$ Н.

При торможении автомобиля в передней подвеске могут возникать большие нагрузки, чем при движении по дороге с плохим покрытием. Расчет сил действующих в передней подвеске при торможении автомобиля сводится к расчету величины нагрузки G_T , т.к. передняя ось при торможении оказывается более нагруженной, по сравнению с прямолинейным равномерным движением. Для определения величины сил возникающих в передней подвеске автомобиля при торможении, автомобиль необходимо рассмотреть как систему (рисунок 2.3).

Для решения задачи динамики применяем принцип Даламбера, для этого приводим ее к задаче статики и находим реакции связей при заданной кинематике движения.

Сумма моментов относительно точки B :

$$\Sigma M_B = -N_A l + P b + F_n h = 0. \quad (2.6)$$

получаем

$$N_A = \frac{P b + F_n h}{l}. \quad (2.7)$$

Поскольку координаты центра тяжести для автомобиля остаются постоянными, то величину b можно рассмотреть для случая равномерного прямолинейного движения автомобиля (рисунок 2.4).

Получаем для равномерного прямолинейного движения (рисунок 2.4) сумма моментов относительно точки B :

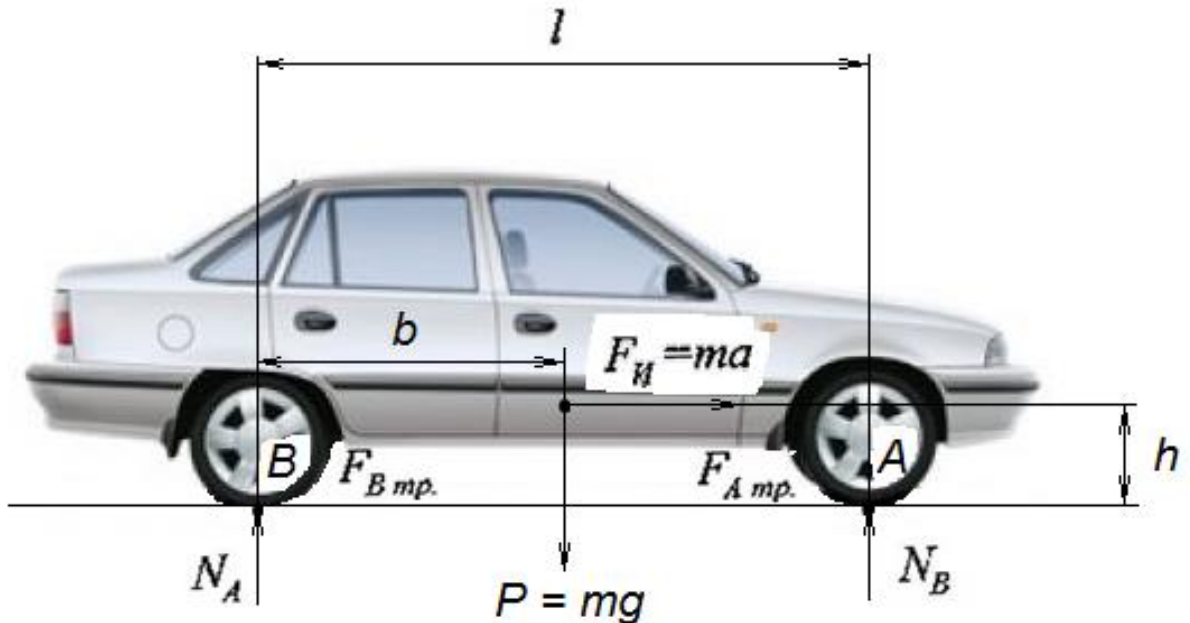


Рисунок 2.3 – Силы, действующие на автомобиль «Daewoo Nexia» при торможении

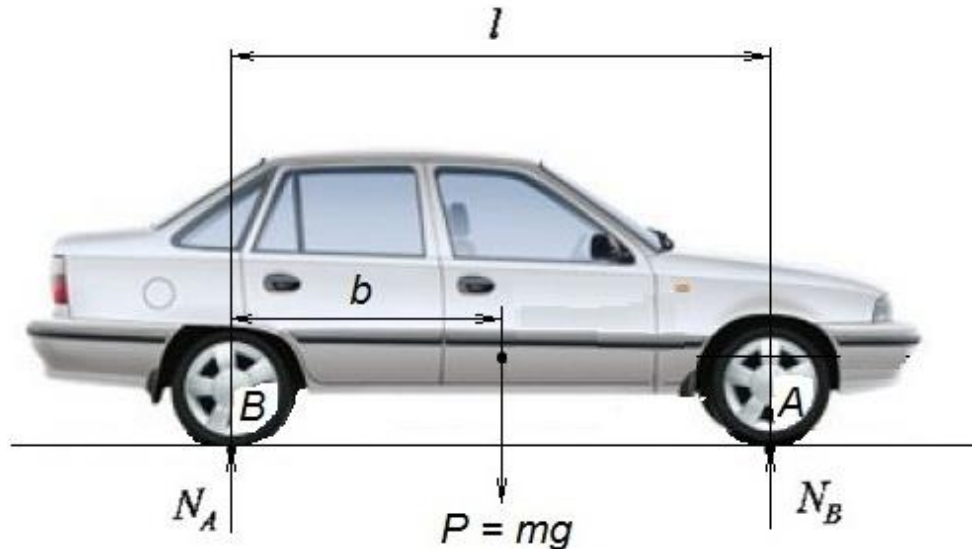


Рисунок 2.4 – Силы, действующие на автомобиль «Daewoo Nexia» при равномерном прямолинейном движении

$$\Sigma M_B = Pb - N_A l = 0. \quad (2.8)$$

$N_A = 2N_G = 7,9$ кН, получаем:

$$b = \frac{N_A l}{P} = \frac{N_A l}{mg} = \frac{7900 \cdot 2,520}{1530 \cdot 9,8} = 1,33 \text{ м.} \quad (2.9)$$

Высота центра тяжести легкового автомобиля h принимается 0,5 от ширины колеи и не может быть больше по возможности бокового переворота при прохождении поворота автомобилем. При перевозке тяжелых грузов это условие может не соблюдаться. Для полной массы автомобиля принимаем:

$$h = \frac{1,406}{2} = 0,703 \text{ м.}$$

Подставляя полученные данные в выражение (2.35) определяем величину нагрузки действующей на переднюю ось при торможении автомобиля с максимальным замедлением $a = 8,4 \text{ м/с}^2$ (рисунок 2.6).

$$N_{A'} = \frac{1530 \cdot 9,8 \cdot 1,33 + 1530 \cdot 8,4 \cdot 0,703}{2,520} = 11498,8 \text{ Н.}$$

Далее аналогично производим расчет нагрузок на шаровый шарнир с учетом величины $N_{A'}$.

$$N'_{VT} = 5749,4 - 210 = 5539,4 \text{ Н,}$$

Полученные значения сил действующих на шаровый шарнир передней подвески автомобиля «Daewoo Nexia» представлены в таблице 2.2 и на рисунке 2.1.

Таблица 2.2 – Нагрузки, действующие на шаровый шарнир в подвеске автомобиля

Нагрузки, Н	При равномерном прямолинейном движении	При торможении с максимальным замедлением
Продольная, $F_{\text{П}}$	108	149
Боковая, $F_{\text{Б}}$	1049	1512
Вертикальная, $F_{\text{В}}$	4,6	-179

2.3 Разработка математической модели изменения технического состояния шарового шарнира подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля в условиях стендовых экспериментальных исследований

Колебания, возникающие в области среднечастотного диапазона связаны с присутствием нелинейных элементов в системе, изменением геометрии кинематических сопряжений, кроме того оказывает влияние случайное возбуждение, появляющегося из за воздействия кинематических, регулировочных, технологических, и других случайных факторов. Анализ динамики в этом диапазоне осуществляется при разложении системы на отдельные подсистемы со связями, которые определяются параметрами типа импеданса, динамической жесткости, податливости [85].

При определении диагностических признаков основное значение имеет только относительное изменение некоторого параметра модели и его воздействие на вибросигнал. В наших исследованиях диагностическим параметром является смещение шарового пальца внутри корпуса шарнира в вертикальной плоскости, что обусловлено зазором в сопряжении полимерного вкладыша и шарового пальца. Это смещение при движении автомобиля приводит к компенсации осевого зазора и соударению пальца с вкладышем, что приводит к появлению вибрации внутри шарнира (рисунок 2.5). Для диагностирования элементов подвески применяется стенд (рисунок 2.6), он позволяет определять в частности техническое состояние шаровых шарниров [86].

Стенд состоит из следующих элементов: I - диагностируемый механизм шарового шарнира (рычаг подвески 1, образующий единое целое с корпусом шарового шарнира 3, с другой стороны опирается на раму стенда 12 через подвижное шарнирное соединение 6, за счет чего рычаг может перемещаться относительно шарнира в вертикальной плоскости. II - исполнительный механизм, который включает в себя гидроцилиндр 1, палец шарнира 2, гайку крепления пальца 4, ступичный подшипник 7, поворотный кулак 8 и направляющий элемент

10). Частота кинематических возмущений исполнительного механизма находится в пределах $6 - 18 \text{ с}^{-1}$. Гидроцилиндр 1 позволяет обеспечить имитация работы подвески (рисунок 2.6).

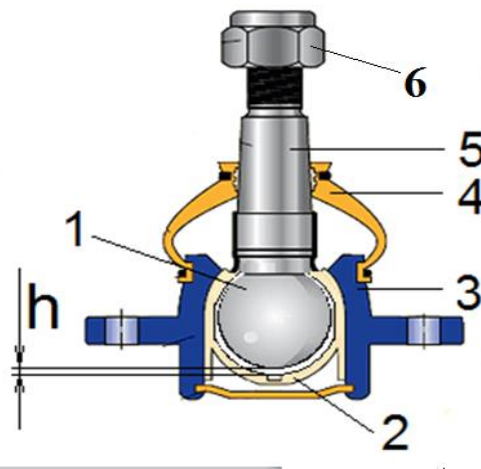


Рисунок 2.5 – Разрез шарового шарнира:

1 - сферическая часть пальца, 2 - вкладыш, 3 – корпус шарнира, 4 – защитный чехол, 5 – палец, h – зазор в сопряжении «вкладыш-головка шарового пальца»

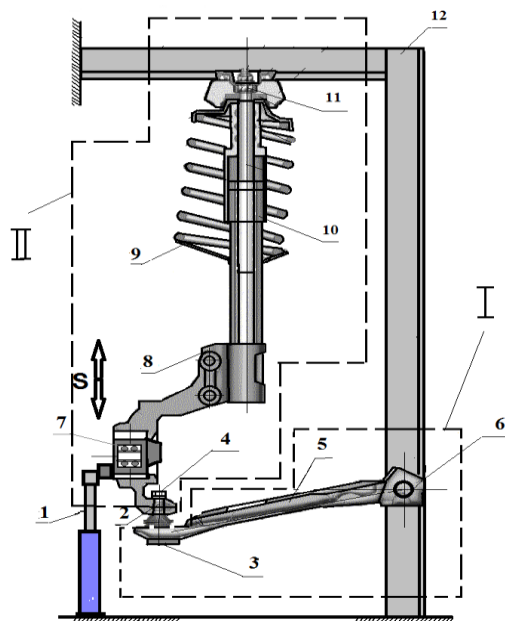


Рисунок 2.6 - Схема механической части стенда для диагностирования и испытания элементов подвески легкового автомобиля:

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

Расчетную схему подвески можно представить в виде блочной структуры (рисунок 2.7) [87].

Первый блок - диагностируемый механизм I, включает в себя массу 3 (приведенная масса рычага подвески 1, масса корпуса шарового шарнира 3, масса вибродатчика 7), упругого элемента 2 имеющего коэффициент жесткости c_1 (жесткость рычага 5 обладающего упругостью в шарнирном соединении 6) Н/м, демпфер 8 обладающий вязкостным сопротивлением b_1 , Нс/м.

Второй блок представляет собой исполнительный механизм II и включает в себя массу m_2 (поворотный кулак 8, палец шарового шарнира 2, ступичный подшипник 7, гайка крепления пальца 4, направляющий элемент 10 и гидроцилиндр 1), упругий элемент имеющий коэффициент жесткости c_2 , Н/м (жесткость вкладыша 2 с возможностью присутствия зазора h), демпфер 6 с вязкостным сопротивлением b_2 , Нс/м.

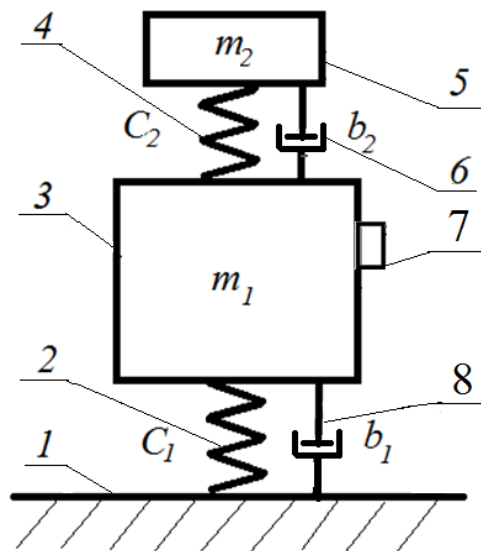


Рисунок 2.7 – Расчетная схема - «головка шарового пальца - полимерный вкладыш»:

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

Допущения, используемые при составлении математической модели:

- 1) в исследуемом диапазоне амплитуд гармонического кинематического возмущения, коэффициент жесткости c_1 принимаем постоянным (система линейна);
- 2) сухое трение в шарнире опускаем Диссипативные силы в сопряжениях b_1 и b_2 (силы вязкого сопротивления) – зависят от скорости линейно, причем $b_2 \ll b_1$;
- 3) исполнительный механизм II задает линейное принудительное перемещение шарового пальца 2, в расчётной схеме принимаем массу $m_2 = 0$;

4) вкладыш представляет собой упругую среду. Зазор h в сопряжении головки и вкладыша описывает их упругое взаимодействие кусочно-линейной характеристикой ($c_2 \rightarrow \infty$, если $|x - y| \leq h$; $c_2 = 0$, если $|x - y| > h$).

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

$$m_1 \ddot{x} + b_1 \dot{x} + c_1 x + (\dot{x} - \dot{y})b_2 + (x - y)c_2 = 0; \quad (2.10)$$

где x – вертикальное перемещение массы m_1 ;

\dot{x} – скорость массы m_1 , м/с;

\ddot{x} – ускорение массы m_1 , м/с²;

y – кинематическое воздействие массы m_2 (принудительное смещение «безинерционной части установки»), м;

b_1 - вязкостное сопротивление в сопряжении «рычаг - рама станда», м²/с;

b_2 - вязкостное сопротивление в сопряжении «головка пальца - полимерный вкладыш», м²/с;

c_1 - коэффициент жесткости сопряжения «рычаг – рама станда», кг/с²;

c_2 - коэффициент жесткости сопряжения «головка пальца - полимерный вкладыш», кг/с².

$$y = y_0 \sin \omega t; \quad (2.11)$$

где $y_0 = 0,01$ м – перемещение массы m_2 , обеспечивает работу станда с частотой 2 Гц;

\dot{y} – скорость «безынерционной части установки», м/с;

ω - частота кинематического воздействия, находится в пределах 6 – 18 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.

Произведем математические преобразования дифференциального уравнения (2.10), перепишем его в следующем виде:

$$m_1 \ddot{x} + (b_1 + b_2) \dot{x} + (c_1 + c_2) x = b_2 \dot{y} + c_2 y; \quad (2.12)$$

Приводим уравнение (2.11) к нормальному виду:

$$\ddot{x} + \frac{b}{m} \dot{x} + \frac{c}{m} x = \frac{b_2}{m} \dot{y} + \frac{c_2}{m} y; \quad (2.13)$$

$$\frac{b}{m} = nd; \quad (2.14)$$

$$\frac{c}{m} = k^2; \quad (2.15)$$

$$\frac{b_2}{m} = nd_1; \quad (2.16)$$

$$\dot{x}_0 = x_1; \quad (2.17)$$

$$\dot{x}_1 = -ndx_1 - k^2x_0 + \frac{b_2}{m}\dot{y}(t) + \frac{c_2}{m}y(t); \quad (2.18)$$

Приведем исходное дифференциальное уравнение к безразмерному виду. Для этого производим следующие преобразования:

умножим выражение (2.12) на $\frac{1}{m_1y_0\omega^2}$, и введем обозначение $\ddot{\xi} = \frac{\ddot{x}}{y_0\omega^2}$, получим:

$$\ddot{\xi} + \frac{b_1+b_2}{m_1y_0\omega^2} \frac{k}{\omega} \dot{\xi} + \frac{c_1+c_2}{m_1y_0\omega^2} \frac{k^2}{\omega^2} \xi = \frac{b_2\dot{y}}{m_1y_0\omega^2} + \frac{c_2y}{m_1y_0\omega^2}; \quad (2.19)$$

Произведем перестановку слагаемых в выражении (2.19), получим:

$$\ddot{\xi} + \frac{b_1+b_2}{m_1k} \frac{\dot{x}}{y_0\omega} \frac{k}{\omega} + \frac{c_1+c_2}{m_1k^2} \frac{x}{y_0} \frac{k^2}{\omega^2} = \frac{b_2\dot{y}}{m_1y_0\omega^2} + \frac{c_2y}{m_1y_0\omega^2}; \quad (2.20)$$

Введем следующие обозначения:

$$\frac{b_1+b_2}{m_1k} = \varepsilon_1 \frac{1}{\eta}; \quad \frac{c_1+c_2}{m_1k^2} = dg \frac{1}{\eta^2};$$

Произведем соответствующие замены в выражении (2.20):

$$\ddot{\xi} + \frac{\varepsilon_1}{\eta} \dot{\xi} \frac{k}{\omega} + \frac{dg}{\eta^2} \xi \frac{k^2}{\omega^2} = \frac{b_2\dot{y}}{m_1y_0\omega^2} + \frac{c_2y}{m_1y_0\omega^2}; \quad (2.21)$$

где $\ddot{\xi} = \frac{\ddot{x}}{y_0\omega^2}$; $\dot{\xi} = \frac{\dot{x}}{y_0\omega}$; $\xi = \frac{x}{y_0}$ - безразмерные переменные: ускорение, скорость и смещение массы m_1 ;

$$k = \sqrt{\frac{c_1}{m_1}}, \text{ с}^{-1} - \text{собственная частота колебаний массы } m_1,$$

$$\eta = \frac{\omega}{k} - \text{относительная частота, с}^{-1},$$

$$\tau = \omega t - \text{безразмерное время,}$$

безразмерные параметры: $\varepsilon_1 = \frac{b_1+b_2}{m_1k}$ и $\varepsilon_2 = \frac{b_2}{m_1k}$ - коэффициенты демпфирования, $g_1 = \frac{c_1+c_2}{m_1k^2}$, $g_2 = \frac{c_2}{m_1k^2}$ - коэффициенты жесткости.

В процессе моделирования учитывали вибрации, которые генерировались установкой (насос, электродвигатель, гидроцилиндр, распределитель,), в процессе моделирования они считались близкими к белому шуму, т. е. случайному сигналу, отсчеты которого некоррелируются друг с другом [88-92].

$$\frac{kb_2y_0\omega \cos \tau}{km_1y_0\omega^2} + \frac{c_2y_0 \sin \tau k^2}{m_1y_0\omega^2 k^2} = \frac{b_2\dot{y}}{m_1y_0\omega^2} + \frac{c_2y}{m_1y_0\omega^2}; \quad (2.22)$$

$$\dot{y} = y_0\omega \cos \tau; \quad (2.23)$$

$$y = y_0 \sin \tau; \quad (2.24)$$

$$\frac{b_2}{m_1k} \frac{1}{\eta} \cos \tau + \frac{c_2}{m_1k^2} \frac{1}{\eta^2} \sin \tau = \frac{b_2\dot{y}}{m_1y_0\omega^2} + \frac{c_2y}{m_1y_0\omega^2}; \quad (2.25)$$

$$\ddot{\xi} + \frac{\varepsilon_1}{\eta} \dot{\xi} + \frac{g_1}{\eta^2} \xi = \frac{\varepsilon_2}{\eta} \cos \tau + \frac{g_2}{\eta^2} \sin \tau. \quad (2.26)$$

Введем обозначения:

$$x_0 = \xi; \quad x_1 = \dot{\xi};$$

$$\dot{x}_0 = x_1,$$

$$\dot{x}_1 = -\frac{\varepsilon_1}{\eta} x_1 - \frac{g_1}{\eta^2} x_0 + \frac{\varepsilon_2}{\eta} \cos(t) + \frac{g_2}{\eta^2} \sin(t). \quad (2.27)$$

Далее уравнение (2.10) умножаем на выражение $\frac{1}{m_1 y_0 \omega^2}$ и используя ранее введённые обозначения $\ddot{\xi} = \frac{\ddot{x}}{y_0 \omega^2}$; $\dot{\xi} = \frac{\dot{x}}{y_0 \omega}$; $\xi = \frac{x}{y_0}$; получаем:

$$\ddot{\xi} + \frac{b_1}{m_1 k} \frac{1}{\eta} \dot{\xi} + \frac{c_1}{m_1 k^2} \frac{1}{\eta^2} \xi + \frac{b_2}{m_1 k} \frac{1}{\eta} (\dot{\xi} - \cos \tau) + \frac{c_2}{m_1 k^2} \frac{1}{\eta^2} (\dot{\xi} - \sin \tau) = 0. \quad (2.28)$$

Вносим ограничения и условия для жесткости c_2 и вязкости b_2 :

$$c_2 = \begin{cases} 0, & \text{if } h < (x - y), \\ c_0 \dots \end{cases}$$

$$b_2 = \begin{cases} 0, & \text{if } h < (x - y), \\ b_0 \dots \end{cases}$$

$$\ddot{\xi} + \frac{\varepsilon_1}{\eta} \dot{\xi} + \frac{g_1}{\eta^2} \xi + \left[\frac{\varepsilon_2}{\eta} (\dot{\xi} - \cos \tau) + \frac{g_2}{\eta} (\dot{\xi} - \sin \tau) \right] \text{if} (|\xi - \sin \tau| < h, 0, 1) = 0;$$

$$\text{if} (|\xi - \sin \tau| < h, 0, g_2);$$

$$\text{if} (|\xi - \sin \tau| < h, 0, \varepsilon_2).$$

Решение и расчеты производятся в программной среде Mathcad [93] (приложение А).

Исходные данные для расчёта:

$$nt := 3\pi 2; \quad \varepsilon_1 := 100; \quad \eta := 0,75; \quad \Delta := 0,01; \quad \varepsilon_2 := 0,1; \quad g_1 = 8000; \quad g_2 = 10; \quad N = 1000; \quad t = 1; \\ vk = 0,05; \quad y_0 = 0,01; \quad m = 0,02;$$

где g_1 – коэффициент жесткости ($g_1 \leftrightarrow c_1$), $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$;

g_2 – коэффициент жесткости ($g_2 \leftrightarrow c_2$), $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$;

ε_1 – коэффициент демпфирования ($\varepsilon_1 \leftrightarrow b_1$), $\frac{\text{НС}}{\text{м}}$;

ε_2 – коэффициент демпфирования ($\varepsilon_2 \leftrightarrow b_2$), $\frac{\text{НС}}{\text{м}}$;

η – относительная частота ($\eta = \frac{\omega}{k}$);

$md(m)$ – функция имитации белого шума;

nt – безразмерное время ($\tau = \omega t$).

$$c_2 = \begin{cases} \rightarrow \infty, & |x - y| \leq h, \\ 0, \dots \end{cases}, \\ g_2 = \begin{cases} \rightarrow \infty, & |\xi - \sin \tau| \leq \Delta, \\ 0, \dots \end{cases}, \\ \Delta = \frac{h}{y_0}, \quad (2.29)$$

где Δ – безразмерный зазор;

$$Z_{Wi} = \frac{at_0}{y_0 \omega}, \quad (2.29)$$

Z_{Wi} – безразмерное виброускорение;

a - размерное виброускорение, м/с²;

$t_0=0,001$ с - время шага для построения графика функции в программной среде Mathcad, соответствует $N=1000$ - количество шагов за секунду для построения графика функции - минимальное значение необходимое для адекватного построения графика;

$\omega = 9$ с⁻¹ принимаем из интервала 6-18 с⁻¹;

Получаем: $Z_{Wi}= 0,0125a$.

Далее составляем матрицу-столбец для начальных условий, когда стенд неподвижен:

$$x := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

Составляем матрицу-столбец с координатами x, t которая содержит правые части уравнений (7) и (8):

$$D(t, x) = \begin{pmatrix} -\frac{\varepsilon_1}{\eta} x_1 + \frac{g_1}{\eta^2} x_0 + \left[\frac{-\varepsilon_2(x_1 - \cos(t))}{\eta} + \frac{g_2(x_0 - \sin(t))}{\eta^2} \right] \text{if} (|x_0 - \sin(t)| < \Delta, 0, 1) + md(m) \end{pmatrix}$$

Используем стандартную функцию «rkfixed» среды Mathcad, которая возвращает матрицу значений решений для дифференциального уравнения, заданного производными и имеющего начальные условия y на отрезке $[x_1, x_2]$, с использованием постоянного шага, метод Рунге - Кутты [93]. В данной функции задаются следующие параметры: шаг, число шагов.

$$Zw1_i := \frac{-\varepsilon_1 Z_{i,2}}{\eta} + \frac{-g_1 Z_{i,1}}{\eta^2};$$

$$Zw2_i = \left[\frac{-\varepsilon_2(Z_{i,2} - \cos(Z_{i,0}))}{\eta} + \frac{-g_2(Z_{i,1} - \sin(Z_{i,0}))}{\eta^2} \right] \text{if} (|Z_{i,1} - \sin(Z_{i,0})| < \Delta, 0, 1);$$

$$Zw_i := Zw1_i + Zw2_i + md(m)$$

где $Zw1_i$ и $Zw2_i$ – составляющие виброускорения, описывающие закон движения исследуемого сопряжения.

После внесения всех ограничений, условий и составления программы изменения технического состояния шарового шарнира в условиях стендовых исследований, получаем график зависимости виброускорения от времени, по горизонтальной оси имеем время, по вертикальной оси – виброускорение в шаровом шарнире. Исследуемый параметр - безразмерный осевой зазор Δ , который находится в взаимосвязи с размерным зазором h и перемещением массы m_1 - уравнение (2.28), получаем $\Delta = 0,1h$;

Варьируя значения величины Δ от 0,001, до 0,09 (таблица 2.1) строим графики зависимости виброускорения от времени моделирования (рисунок 2.8).

Анализ полученной программы показал, что на полученный график оказывают влияние входные параметры системы: g_1 , g_2 , ε_1 , ε_2 , η , $md(m)$ (рисунки 2.9-2.12, при величине $\Delta=0,06$). Остальные факторы системы – N , y_0 , t , vk практически не оказывают влияния на полученный график [94].

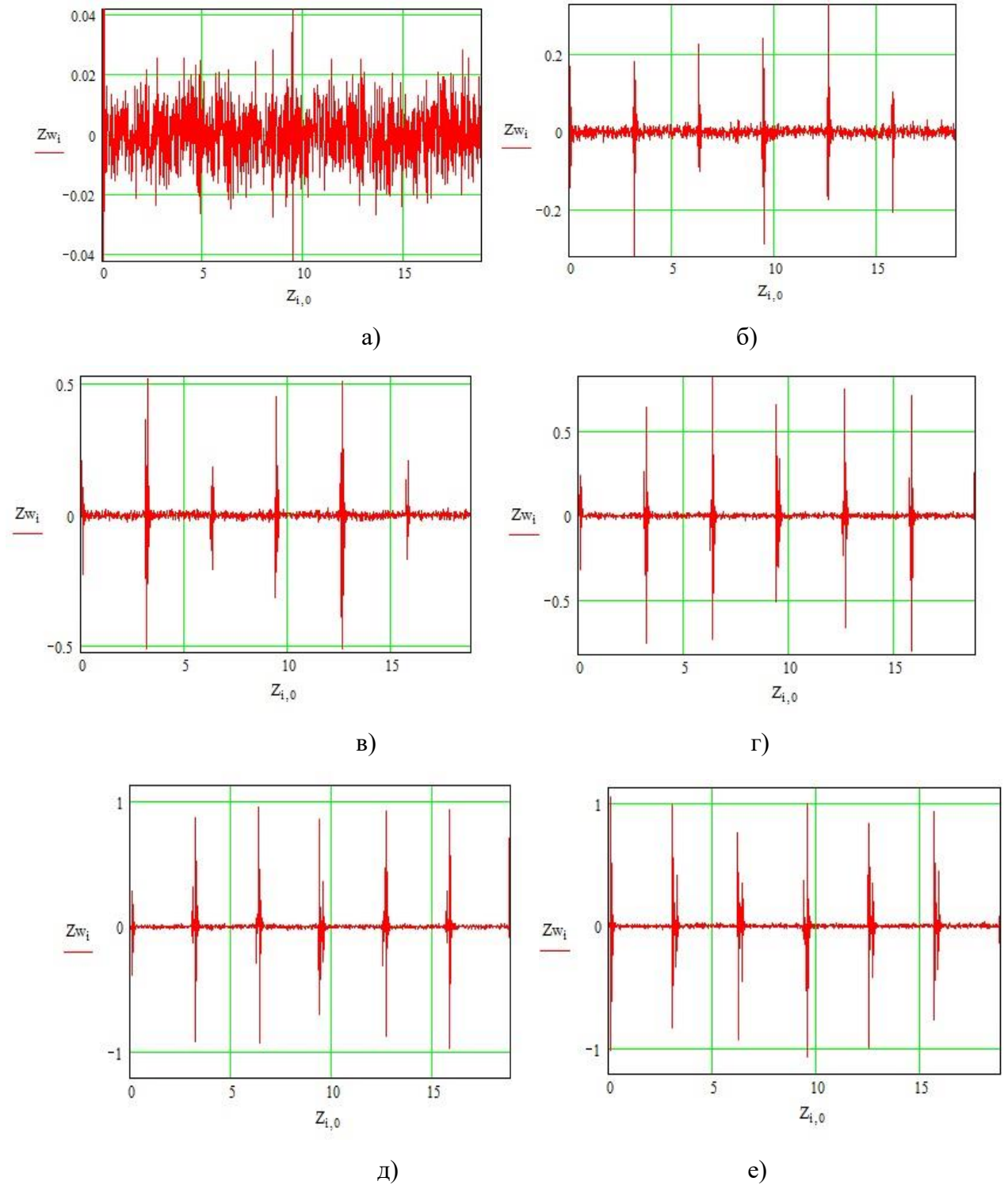


Рисунок 2.8 – График зависимости виброускорения от времени, в условиях программной среды Mathcad, представленный в безразмерном виде, для значений величины зазора Δ :

а) 0,001; б) 0,02; в) 0,04; г) 0,06; д) 0,08; е) 0,09

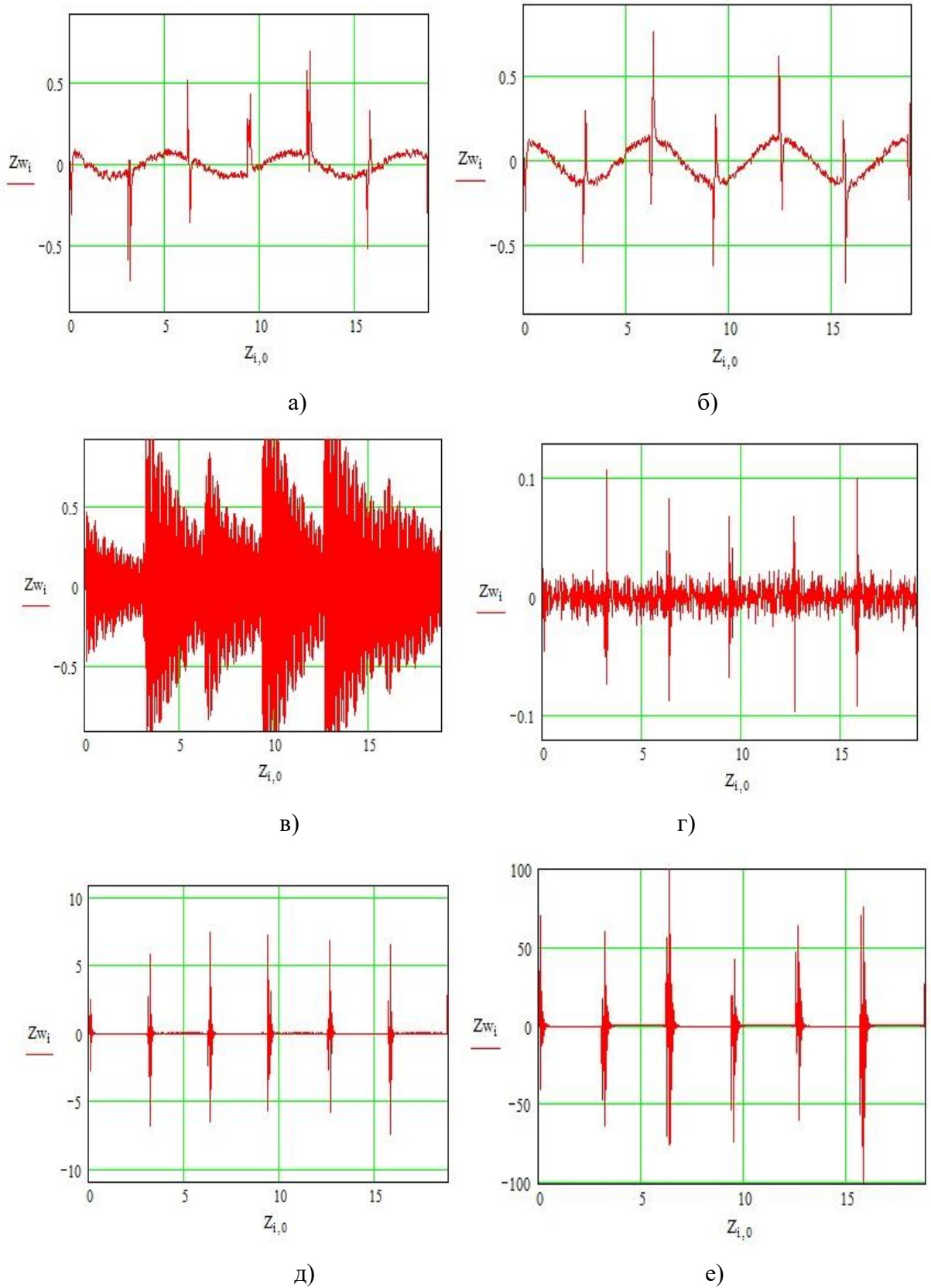
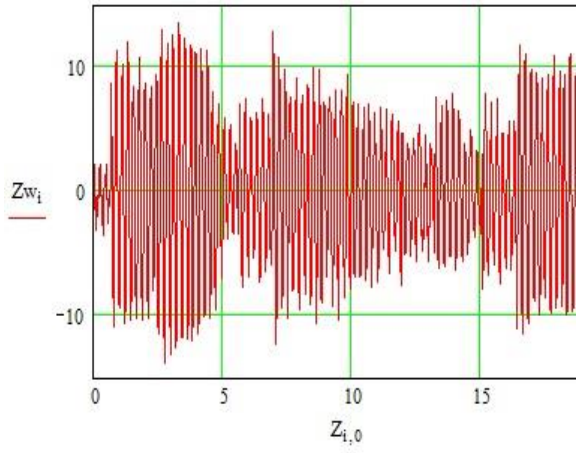
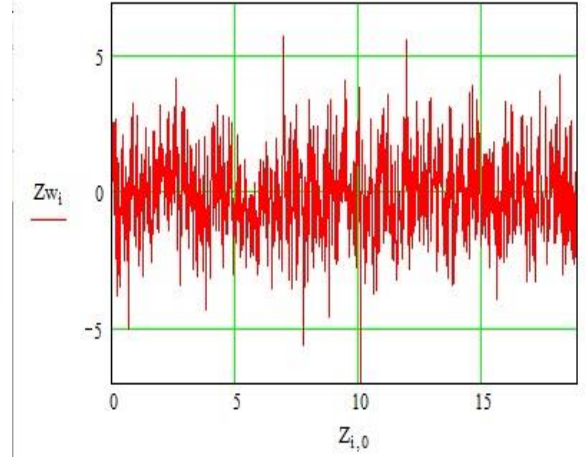


Рисунок 2.9 – Влияние значений параметров g_1 , g_2 на форму графика виброускорения:

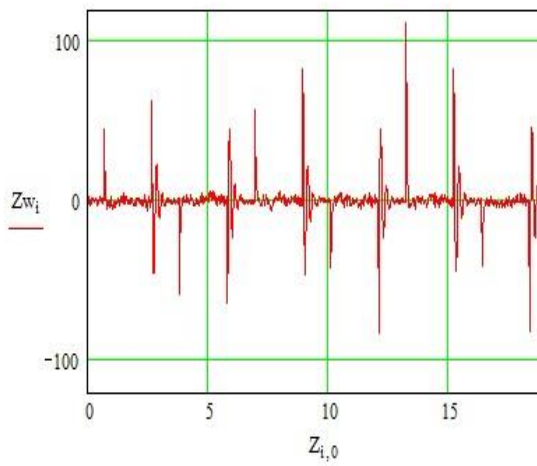
а) $g_1=0,01$; б) $g_1=100$; в) $g_1=10800$, з) $g_2=0,1$; д) $g_2=100$; е) $g_2=1000$



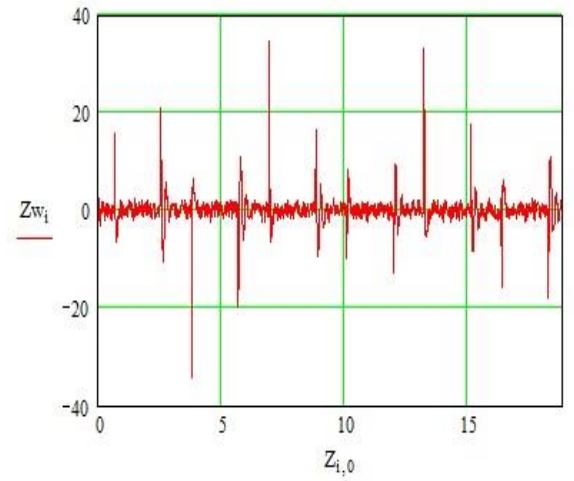
а)



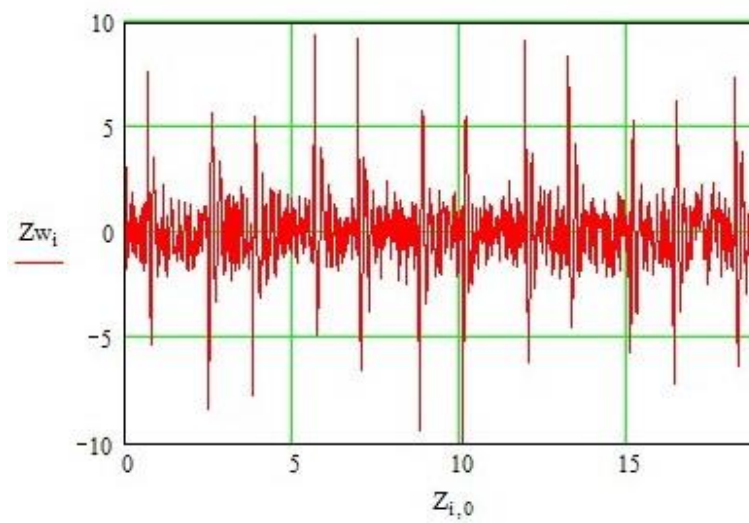
б)



в)



г)



д)

Рисунок 2.10 – Влияние значений параметров ε_1 , ε_2 на форму графика виброускорения

а) $\varepsilon_1=0,1$; б) $\varepsilon_1=100$; в) $\varepsilon_2=100$, г) $\varepsilon_2=30$; д) $\varepsilon_2=0,03$

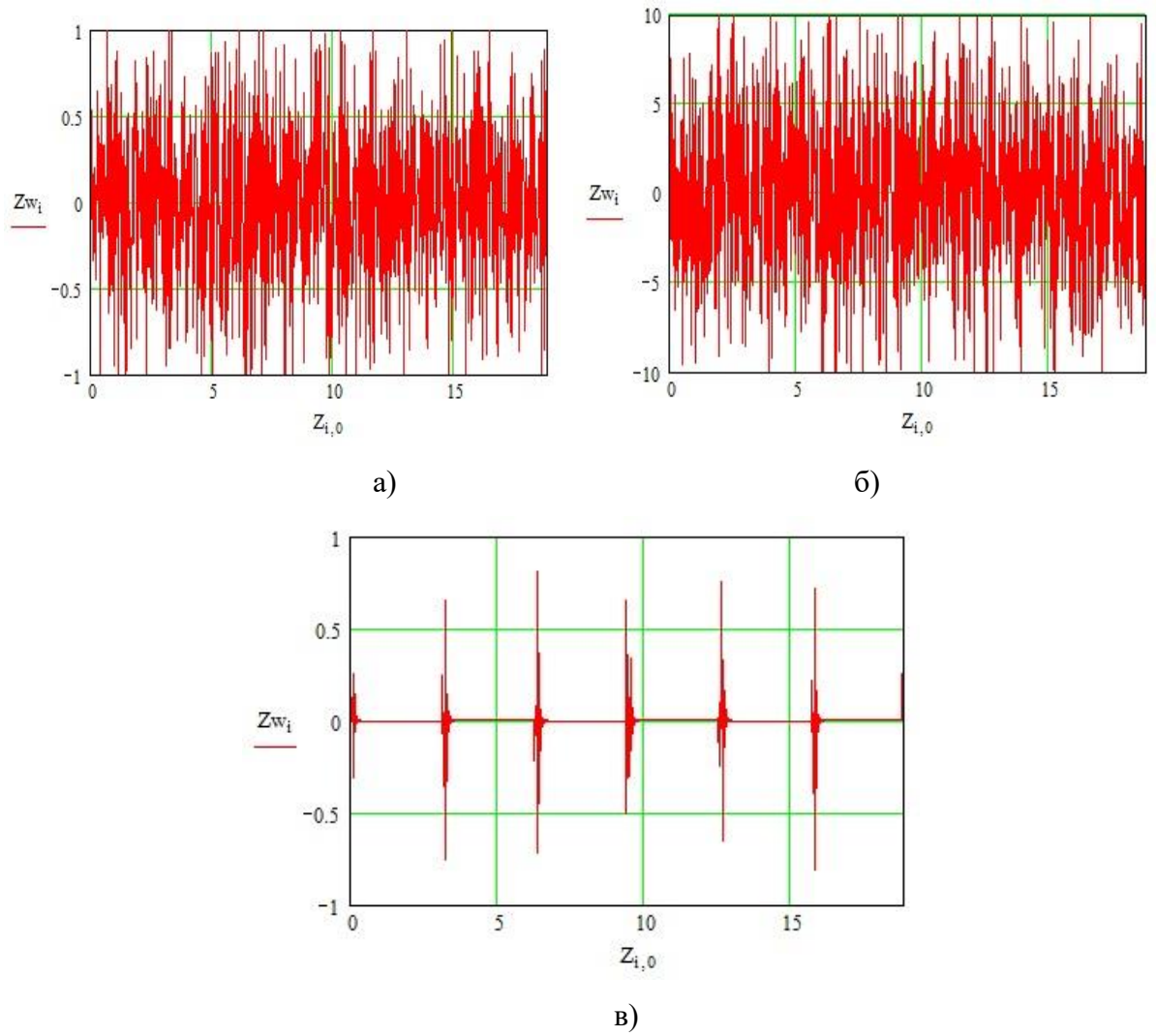


Рисунок 2.11 – Влияние значений параметров $md(m)$ на форму графика виброускорения

а) $md=1$; б) $md=10$; в) $md=0$

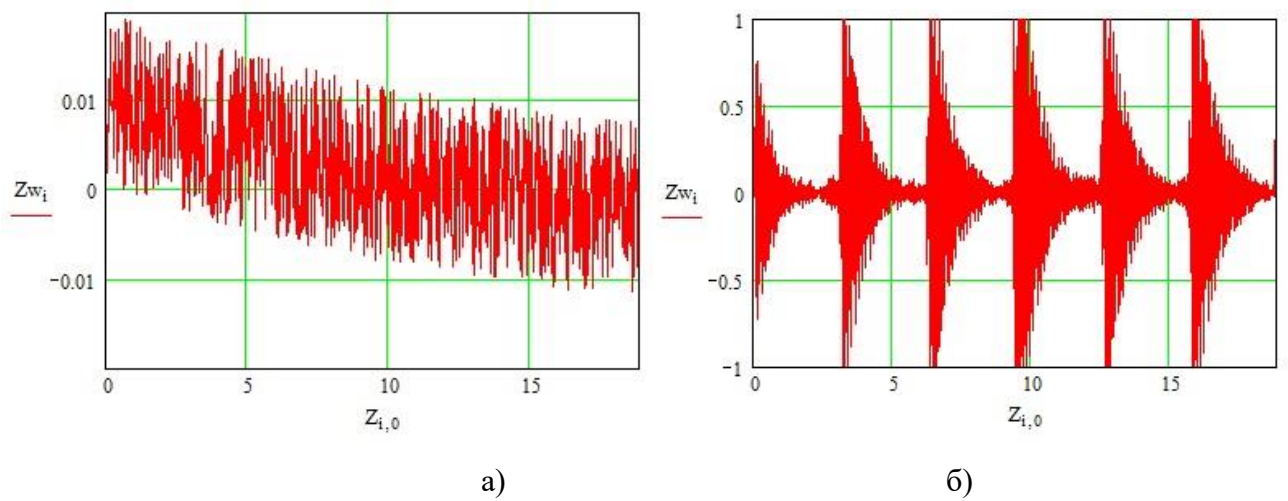


Рисунок 2.12 – Влияние значений параметров η на форму графика виброускорения

а) $\eta=1000$; б) $\eta=0,65$

На рисунке 2.13 представлен график зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов, полученный моделированием в программной среде Mathcad. В процессе перехода от безразмерных величин к размерным, построен график зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов (рисунок 2.14).

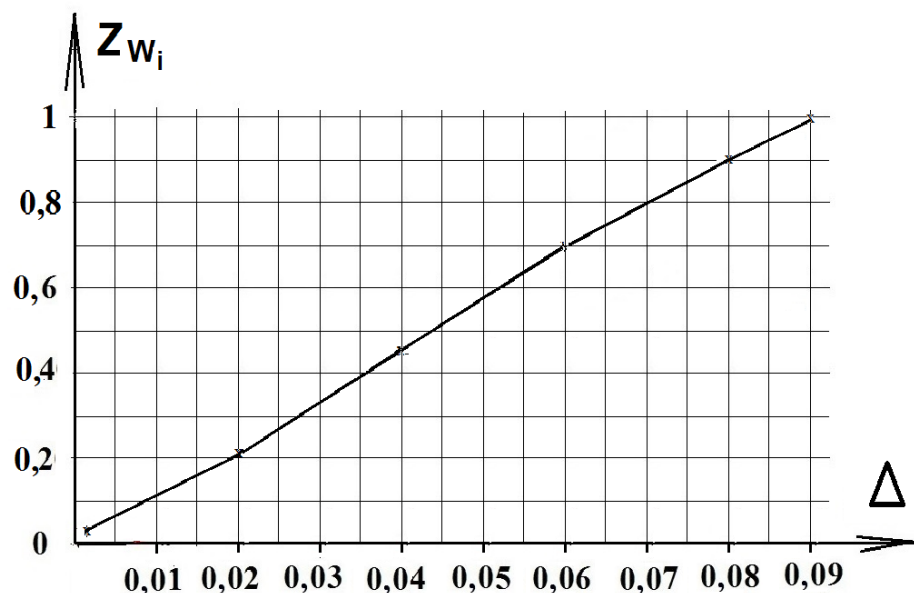


Рисунок 2.13 - График зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов, полученный моделированием в программной среде Mathcad

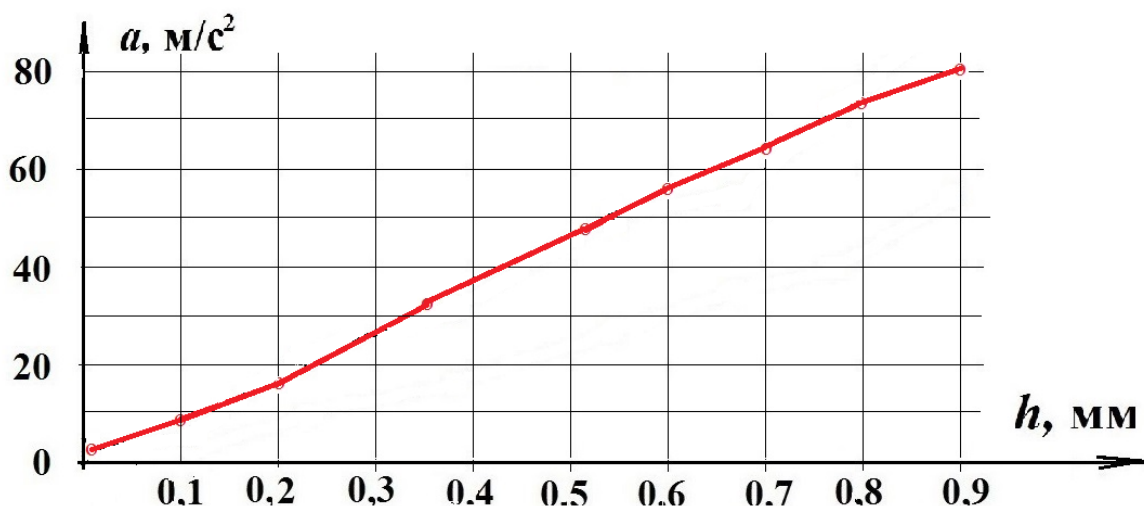


Рисунок 2.14 - График зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов, полученный моделированием в программной среде Mathcad преобразованный к размерному виду

Выводы по главе

1. Проведен анализ параметров определяющих величину осевого зазора в шаровом шарнире и получена зависимость для его определения:

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

2. Определены нагрузки, возникающие в шаровых шарнирах передней подвески типа «МакФерсон» на примере легкового автомобиля малого класса «Daewoo Nexia». Получены следующие значения, при торможении с максимальным замедлением $a = 8,4 \text{ м/с}^2$: продольная нагрузка $F_{\text{пт}} = 148,99 \text{ Н}$; боковая нагрузка $F_{\text{БТ}} = 1511,53 \text{ Н}$; вертикальная нагрузка $F_{\text{ВТ}} = -178,9 \text{ Н}$.

3. Получена математическая модель изменения технического состояния шарового шарнира передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля, при стендовых исследованиях, которая может быть представлена в виде уравнения:

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

4. Моделирование изменения технического состояния шарового шарнира подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля в программной среде Mathcad позволило установить, что основными параметрами, оказывающими влияние на величину виброускорения являются: осевой безразмерный зазор Δ , ε_1 и ε_2 - коэффициенты демпфирования в сопряжении рычага и шарнира соответственно, g_1 и g_2 - коэффициенты жесткости в сопряжении рычага и шарнира соответственно, $md(m)$ - функция, имитации белого шума, η - относительная частота.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕЛИЧИНЫ ОСЕВОГО ЗАЗОРА В ШАРОВЫХ ШАРНИРАХ

3.1 Обоснование вибрационного способа определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах подвески легковых автомобилей

С точки зрения точности измерения, информативности, простоты и быстроты диагностирования шарового шарнира, наиболее перспективными, представляются диагностические способы, основанные на использовании емкостных вибрационных датчиков (рисунок 3.1), устанавливаемых на исследуемых сопряжениях подвески и ходовой части. Их перемещение приводит к появлению вибрации в них, что приводит к образованию электрического сигнала, который можно преобразовать в величину зазора. Такие способы диагностирования в условиях автосервисных предприятиях наиболее эффективно применять вместе с электро-гидравлическими детекторами [86].



Рисунок 3.1 – Различные варианты емкостных вибрационных датчиков

Исследуемый параметр, характеризующий техническое состояние шарового шарнира - осевой зазор h (рисунок 2.5). При возрастании величины осевого зазора до $h = 0,7$ мм и более, шарнир непригоден для последующей эксплуатации [95-97].

Целью экспериментальных исследований является получение зависимостей между величиной осевого зазора h в шаровых шарнирах и показаниями вибродатчиков установленных на рабочих элементах стенда. На основе полученных результатов производим разработку способа, позволяющего определять осевой зазор h в шаровых шарнирах, установленных на автомобилях, с помощью вибродатчиков, без разборки и снятия шарниров с автомобиля.

Наличие вибрации обусловлено присутствием зазоров между сферической частью пальца шарового шарнира и полимерным вкладышем. Вибрации появляются в шаровом шарнире при движении автомобиля, при разнонаправленных нагрузках, появляющихся в исследуемом узле при смещении колеса, когда оно проезжает неровности дорожного полотна, разгоне, торможении и движении автомобиля на повороте [98].

Вибросмещение (виброперемещение) измеряется при низкочастотной вибрации с верхней границей частотных составляющих 100-200 Гц. Виброскорость, основной параметр вибрации, он характеризует колебательную энергию. Амплитуда составляющих виброскорости в достаточно широкой полосе частот (10 - 1000 Гц) равномерна, что упрощает измерение и повышает достоверность [99]. Виброускорение характеризует динамическое силовое воздействие элементов друг на друга внутри механизма, которое приводит к рассматриваемой вибрации. В нашем случае это взаимодействие сферической части пальца и полимерного вкладыша в шаровом шарнире. Применение виброускорения обоснованно, т. к. его не нужно специально преобразовывать, оно измеряется в м/сек^2 [100-101].

На рисунке 3.3 вибрационный сигнал представлен в виде виброперемещения, виброскорости и виброускорения.

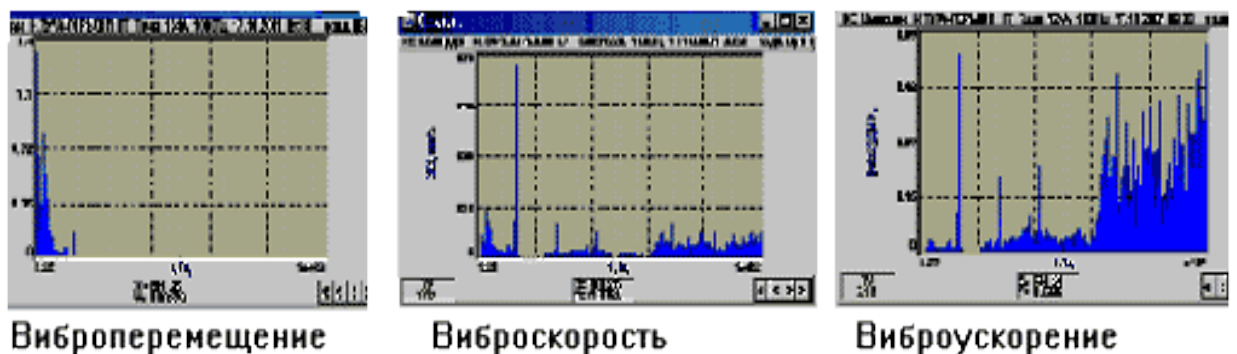


Рисунок 3.3 - Представление вибрационного сигнала в виде виброперемещения, виброскорости и виброускорения

3.2 Проектирование стенда для диагностирования и испытания элементов подвески, конструкция, расчет, принцип действия

Анализ устройства и принципа действия стендов для испытания и диагностирования шаровых шарниров и подвесок, выявил их недостатки, которые были минимизированы в предложенной конструкции стенда, который позволяет проводить диагностические и ресурсные исследования элементов подвески легкового автомобиля, в частности шаровых шарниров (рисунок 3.4). Разработанный стенд защищен патентом РФ [102], он совмещает в себе компактность, простоту исполнения с высоким уровнем соответствия реальным условиям эксплуатации шаровых шарниров (приложение Б).

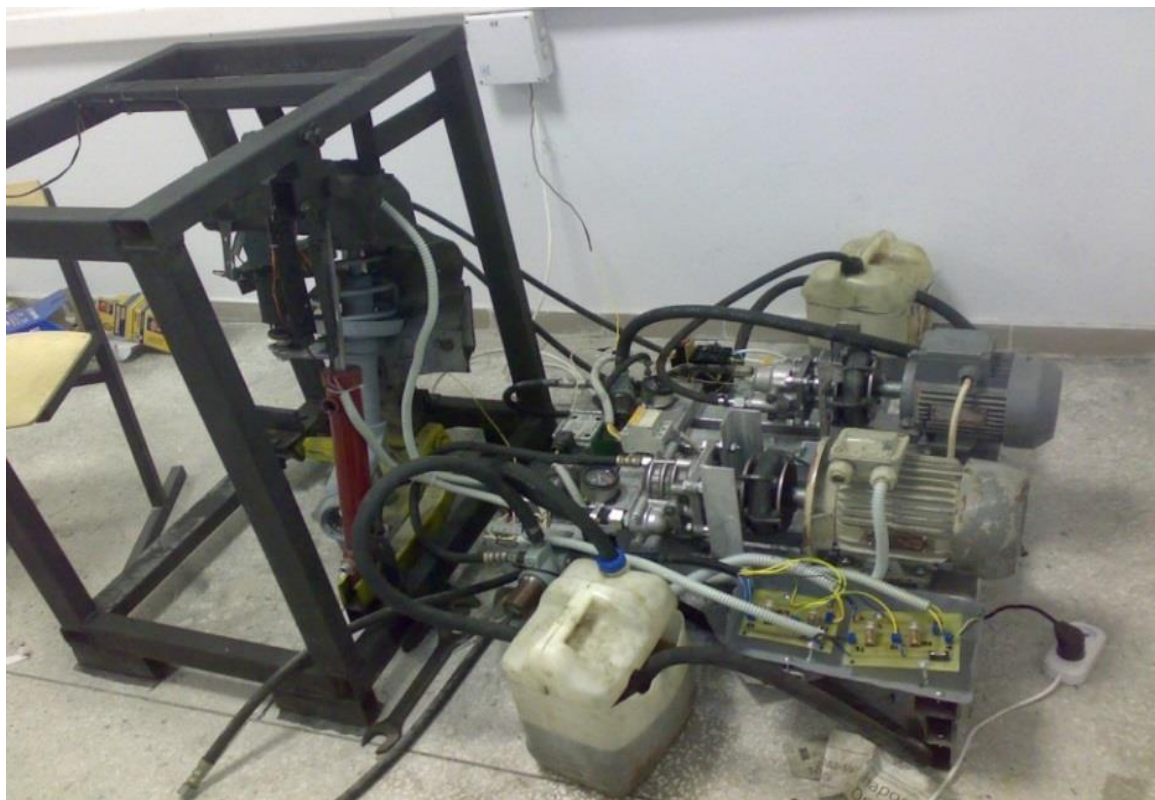


Рисунок 3.4 – Общий вид стенда для испытания и диагностирования элементов подвески. Вид со стороны электрогидравлического привода

Разработанный стенд для испытания и диагностирования элементов подвески можно отнести к новому типу испытательных стендов, объединяющим в себе испытания передней подвески автомобилей и испытания шаровых шарниров независимо от других элементов подвески, обладая при этом достоинствами обоих типов испытаний и минимизирующих их недостатки.

3.2.1 Механическая часть станда для испытания и диагностирования элементов подвески

Основа станда – правая сторона модернизированной передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля «Daewoo Nexia» жестко закрепленная в одной точке на основании (опорный подшипник стойки) и шарнирно закрепленная в двух точках на основании (сайлент-блок и резиновая втулка) (рисунок 3.5, 3.6). Амортизационная стойка при этом заменяется на направляющий элемент (поз. 9, рисунок 3.2) обеспечивающим вертикальное перемещение без сопротивления. При этом сохраняется кинематика движения и все нагрузки на станде по сравнению с автомобилем.

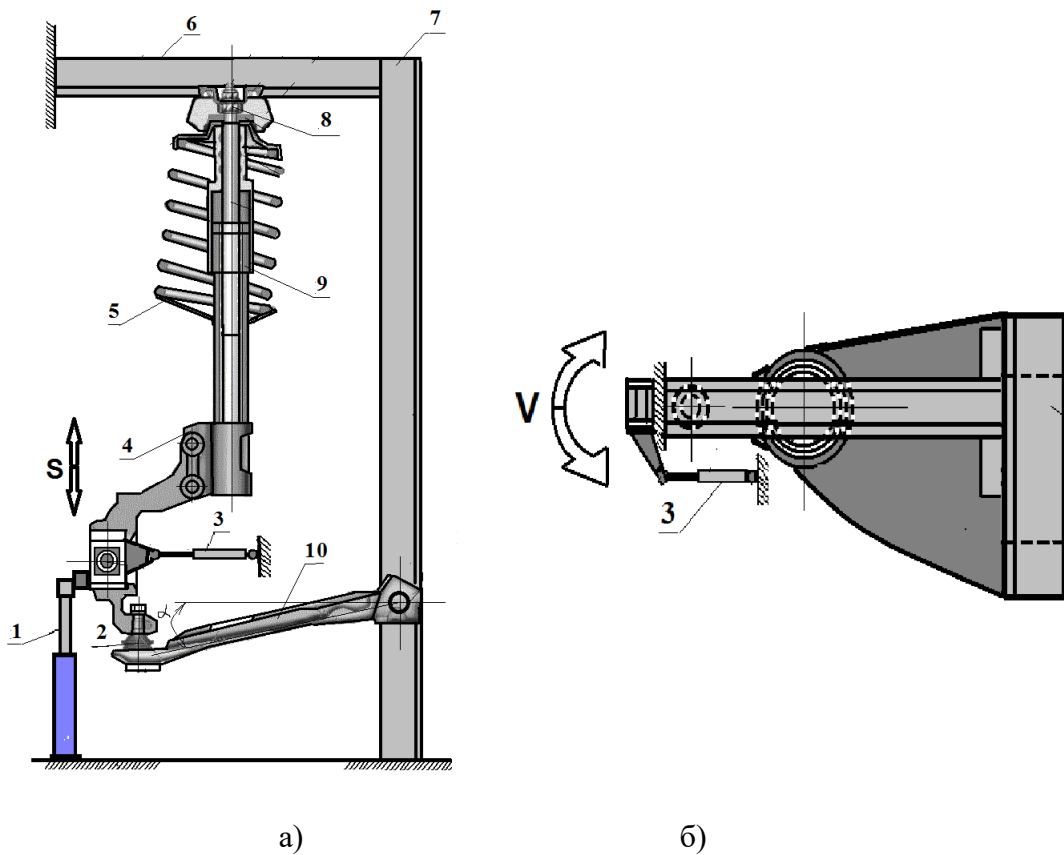


Рисунок 3.5 - Схема механической части станда для диагностирования и испытания элементов подвески:

а) Вид сбоку, б) вид сверху

1 – Основной гидроцилиндр, 2 - шаровый шарнир, 3 - горизонтальный гидроцилиндр, 4 - кулак поворотный, 5 - пружина, 6 - верхняя рама, 7 - боковая рама, 8 - опорный подшипник, 9 - направляющий элемент, 10 – рычаг

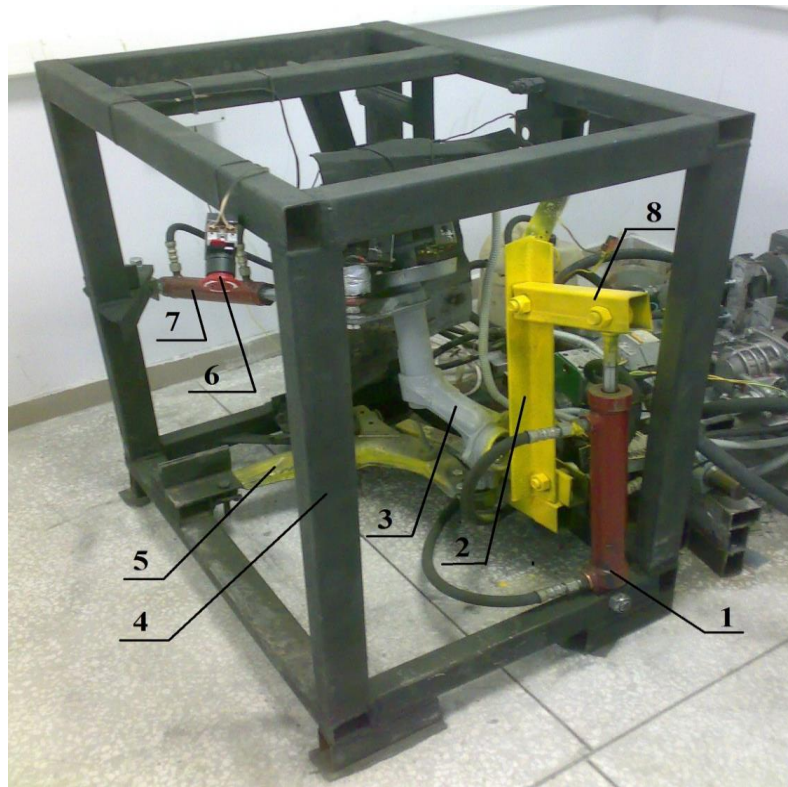


Рисунок 3.6 - Общий вид механической части стенда для испытания и диагностирования элементов подвески:

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

3.2.2 Гидравлическая часть стенда для испытания и диагностирования элементов подвески

Большое распространение в машиностроении получили гидроприводы, это связано с некоторыми их преимуществами перед другими типами приводов, такими как возможность получения значительных усилий и мощностей при компактных размерах гидродвигателей. Гидроприводы обладают возможностью бесступенчатой регулировки скоростей в широких диапазонах регулирования (при условии хорошей плавности движения), кроме того возможна работа в динамических режимах с требуемым качеством переходных процессов, а так же защита механизмов от перегрузки и возможность точного регулирования нагрузок [103].

Гидроцилиндры задают прямолинейное движение без дополнительных преобразований. Наиболее эффективно использование гидропривода при необходимости создания возвратно-поступательного движения рабочего элемента [104].

Источником нагрузок и движений в разработанном стенде для испытания и диагностирования элементов подвески служит гидравлический привод (рисунки 3.7, 3.8).

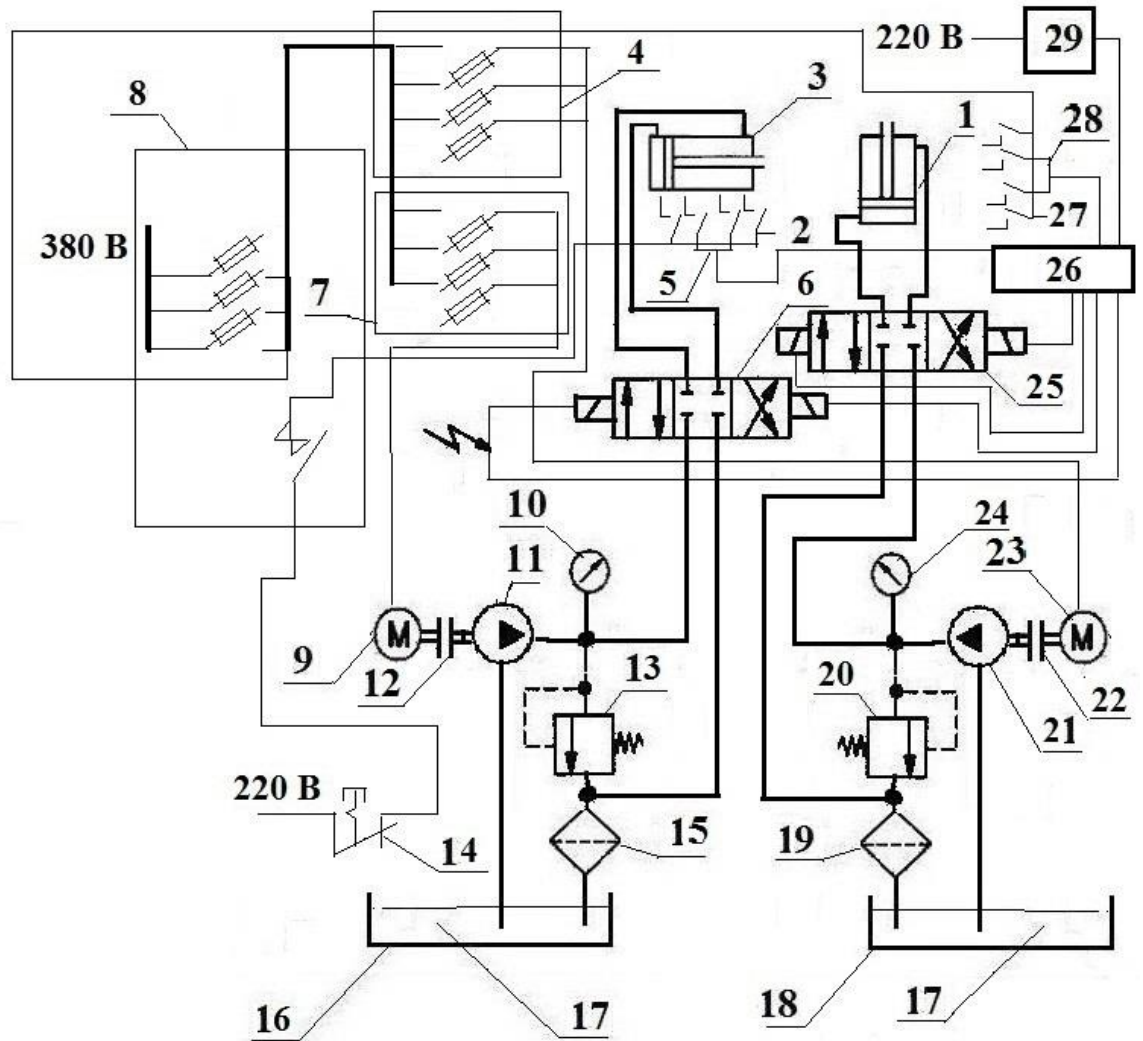


Рисунок 3.7 - Схема гидравлической и электрической части стенда:

1 – основной (вертикальный) гидроцилиндр, 2 – аварийные концевые выключатели дополнительного гидроцилиндра, 3 – дополнительный (горизонтальный) гидроцилиндр, 4 – автомат питания основного гидроцилиндра, 5 – концевые выключатели дополнительного гидроцилиндра (рабочие), 6 – гидравлический распределитель дополнительного гидроцилиндра, 7 – автомат питания дополнительного гидроцилиндра, 8 – магнитный пускатель с тепловым реле, 9 – электродвигатель привода дополнительного гидроцилиндра, 10 – манометр гидролинии дополнительного гидроцилиндра, 11 – насос привода дополнительного гидроцилиндра, 12 – муфта, 13 – предохранительный клапан гидролинии дополнительного гидроцилиндра, 14 – аварийная кнопка отключения стенда, 15 – фильтр дополнительной гидролинии, 16 – гидробак привода дополнительного гидроцилиндра, 17 – рабочая жидкость, 18 – гидробак привода основного гидроцилиндра, 19 – фильтр основной гидролинии, 20 – предохранительный клапан гидролинии основного гидроцилиндра, 21 – насос привода основного гидроцилиндра, 22 – муфта, 23 – электродвигатель основного гидроцилиндра, 24 – манометр гидролинии основного гидроцилиндра, 25 – гидравлический распределитель основного гидроцилиндра, 26 – контроллер, 27 – концевые выключатели основного гидроцилиндра (аварийные), 28 – концевые выключатели основного гидроцилиндра (рабочие), 29 – блок питания

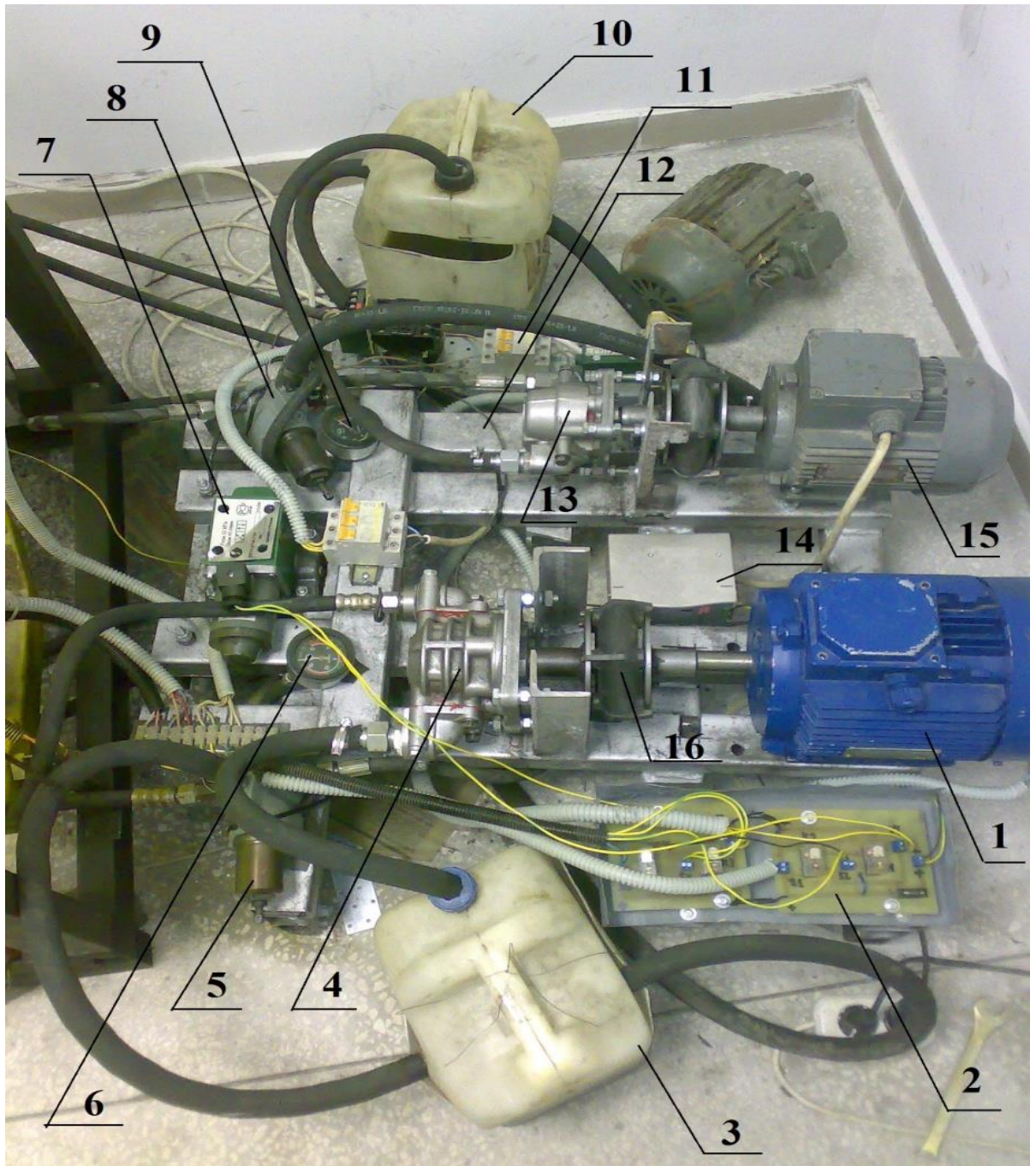


Рисунок 3.8 - Общий вид гидравлического привода стенда:

1 – электродвигатель привода основного гидроцилиндра, 2 - контроллер, 3 - гидробак основного гидроцилиндра, 4 - насос основного гидроцилиндра, 5 - предохранительный клапан основного гидроцилиндра, 6 – манометр основного гидроцилиндра, 7 - гидравлический распределитель основного гидроцилиндра, 8 - предохранительный клапан дополнительного гидроцилиндра, 9 – манометр дополнительного гидроцилиндра, 10 – гидробак дополнительного гидроцилиндра, 11 - автомат питания вертикального гидроцилиндра, 12 - рама гидро и электрооборудования, 13 – насос привода горизонтального гидроцилиндра, 14 - блок питания, 15 – электродвигатель привода дополнительного гидроцилиндра, 16 - муфта

Для создания давления в гидросистеме применяются шестеренные насосы (поз. 11, 21, рисунок 3.7), обладающие простотой конструкции, и способные работать с незначительными нагрузками стенда. Для основного гидроцилиндра применили насос НШ-32 (поз. 21, рисунок 3.7) с номинальным давлением на выходе – 14 МПа, скорость вращения – 1920 мин^{-1} , рабочий объем – 32 см^3 , потребляемая мощность – 26,6 кВт, подача – 72,9 л/мин. Насос НШ-6 для дополнительного гидроцилиндра (поз. 11, рисунок 3.7) позволяет получить рабочее давление на выходе – 16 МПа, скорость вращения – 3000 мин^{-1} , подачу – 16,2 л/мин, рабочий объем – $6,3 \text{ см}^3$, потребляемая мощность – 6,8 кВт).

Для создания возвратно-поступательного движения применили два гидроцилиндра двустороннего действия – вертикальный основной Ц 40x250-11-8811 и горизонтальный дополнительный Ц 40x250 1100392 (рисунок 3.6). Основной гидроцилиндр (поз.1) позволяет обеспечить работу подвески, аналогично работе подвески при движении автомобиля. Важной его характеристикой является ход штока, сопоставимый с ходом подвески 30-40 мм, и получение возможности удлинения рычага, для увеличения усилия с соответствующим увеличением хода штока. Дополнительный гидроцилиндр (поз.7) – имитирует поворот колес автомобиля за счет воздействия на поворотный кулак, который двигается из крайнего левого положения в крайнее правое, и наоборот, на расстояние 150-200 мм, ход штока гидроцилиндра составляет около 170 мм [105, 106].

3.2.3 Электрическая часть стенда для испытания и диагностирования элементов подвески

Работа стенда осуществляется от сети переменного тока, напряжением 380 В (трехфазная сеть) и от сети переменного тока 220 В (двухфазная сеть). В качестве источников вращательного движения для насосов служат электродвигатели переменного напряжения трехфазного тока АИР-90 (мощность 3 кВт, 3000 мин^{-1}) для основной гидролинии поз. 23 и АИР-63 (мощность 250 Вт, 1000 мин^{-1}) для дополнительной гидролинии поз. 9 (рисунок 3.7). В качестве выключателей/выключателей используются два автомата питания для каждого электродвигателя поз. 4, 7. Для защиты системы от короткого замыкания используется магнитный пускатель с тепловым реле 8 (рисунок 3.7). Для работы стенда в автоматическом режиме используется схема управления распределением потоков рабочей жидкости (рисунок 3.9).

Принцип работы схемы основан на использовании концевых выключателей 5 и 28 (рисунок 3.7). На каждом гидроцилиндре установлено по два концевых переключателя, при срабатывании каждого из которых гидроцилиндр меняет свое направление движения. Работа

системы в автоматическом режиме обеспечивается за счет контроллера 26, получающего питание от сети 220 В, через блок питания 29. Рабочие концевые выключатели 5 и 28 так же ограничивают перемещение штоков гидроцилиндров. Если по какой либо причине один из рабочих концевых переключателей не сработает, в электрической схеме станда предусмотрена система аварийного выключения. Для этого используются аварийные концевые выключатели 2 и 27, установленные позади рабочих концевых выключателей. Все четыре аварийных выключателя последовательно соединены через обмотку магнитного пускателя 8 с электросетью и при срабатывании любого из них разрывают цепь питания обмотки пускателя, рабочие контакты пускателя разъединяются и отключают питание электродвигателей. Для экстренного отключения станда используется кнопка аварийного отключения электропитания 14, так же последовательно включенная в цепь питания обмотки пускателя.

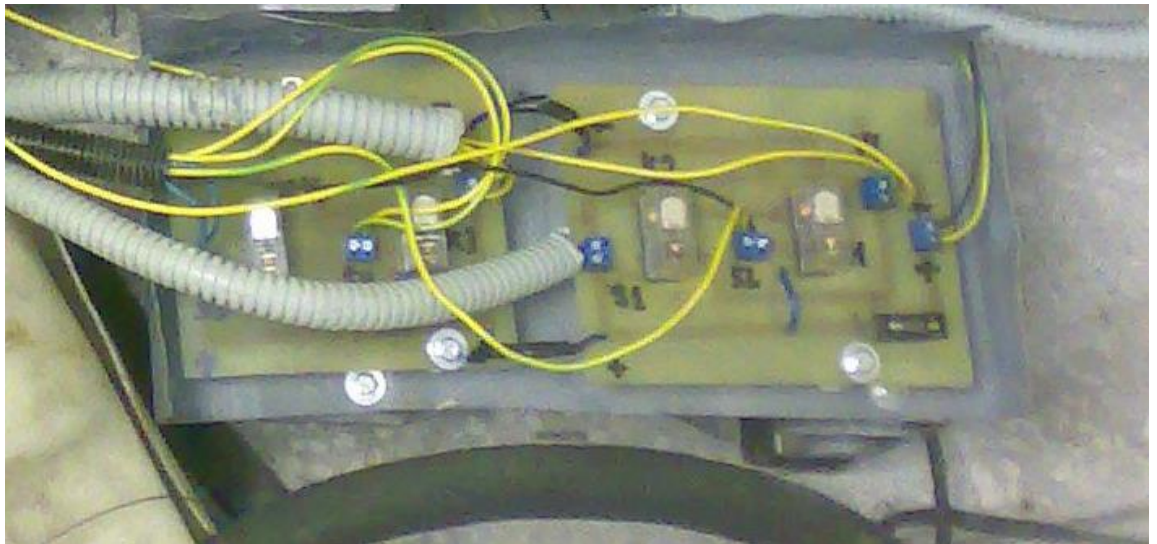


Рисунок 3.9 - Схема управления распределением потоков рабочей жидкости станда для испытания и диагностирования элементов подвески

3.2.4 Принцип работы станда для испытания и диагностирования элементов подвески

Масло из гидробаков 16 и 18 (рисунок 3.7) засасывается насосами 11 и 21, которые приводится в действие от электродвигателей через упругие муфты 12 и 22 [107, 108]. Далее от насоса 23 масло под давлением подается через предохранительный клапан 20 в распределитель 25, управляющий основным гидроцилиндром 1, который обеспечивающий движение рычага 5 (рисунок 3.6), шарового шарнира, направляющего элемента совместно с поворотным кулаком, движение вниз осуществляется за счет усилия пружины и гидроцилиндра 1. Направляющий элемент перемещается относительно штока. Вертикальный гидроцилиндр при работе создает

нагрузки, аналогичные тем, что возникают в передней подвеске легкового автомобиля при проезде через неровности дороги, ускорении, замедлении, повороте. От насоса 11 масло подается в распределитель 6, который управляет горизонтальным гидроцилиндром 3 двустороннего действия, перемещающего поворотный кулак вместе с цилиндром относительно неподвижного штока и относительно рычага в шаровом шарнире. Пружина вращается вокруг своей оси в опорном подшипнике. Работа горизонтального гидроцилиндра 3 имитирует поворот автомобиля. Изменение давления в предохранительных клапанах 13 и 20 обеспечивает работу гидроцилиндров с различными частотами и соответствующими нагрузками в шарнире

В систему включены манометры 10 и 24 (рисунок 3.7) для контроля давления масла в гидролиниях, предохранительные клапаны 13 и 20 для сбрасывания давления при его критическом повышении и фильтры 15 и 19 для отделения и задержания загрязняющих частиц, находящихся в масле, которые поступают по сливной линии в гидробак. Направляющий элемент 9 зафиксирован на верхней раме 6 посредством опорного подшипника 8, он позволяет вращаться стойке и шаровому шарниру (рисунок 3.5). Направляющий элемент задает перемещение S стойки с рычагом в вертикальной плоскости, и представляет собой шток, движущийся относительно цилиндра.

3.2.5 Определение нагрузок, возникающих в шаровом шарнире на стенде для испытания и диагностирования элементов подвески

Исходные параметры для определения нагрузок возникающих в шаровом шарнире на стенде для испытания и диагностирования элементов подвески:

Основной электродвигатель – мощность 3,0 кВт, номинальное число оборотов - 2860 мин⁻¹.

Дополнительный электродвигатель – мощность 0,25 кВт, номинальное число оборотов - 1000 мин⁻¹.

Параметры насосов НШ-6 и НШ-32 приведены в п.3.2.2.

Основной гидроцилиндр двустороннего действия – Ц 40x250-11-8811. Диаметр поршня 40 мм, ход штока 250 мм. Дополнительный горизонтальный гидроцилиндр двустороннего действия Ц 40x250 1100392. Диаметр поршня 40 мм, ход штока 250 мм. Давление, создаваемое предохранительным клапаном в основной гидролинии $p = 1,8$ МПа.

Силы, возникающие в шаровом шарнире на испытательном стенде и в подвеске автомобиля, представлены на рисунке 3.10.

Усилие, создаваемое вертикальным гидроцилиндром $F_{\text{ц}}$, определяется из выражения:

$$F_{ц} = p s k_p, \quad (3.1)$$

где s – площадь поршня гидроцилиндра.

Рабочий ход гидроцилиндра приходится на растягивание штока, соответственно в расчетах используем полную величину площади поршня без учета площади штока гидроцилиндра [103].

$$s = \frac{\pi D^2}{4} = 0,0013 \text{ м}^2. \quad (3.2)$$

k_p – передаточное число дополнительного рычага.

$$k_p = \frac{l}{l_0}, \quad (3.3)$$

l – расстояние от оси крепления рычага до точки крепления гидроцилиндра к рычагу. Замеряется непосредственно на стенде. $l = 610$ мм.

l_0 – длина рычага подвески. Измеряется от оси крепления рычага до центра головки шарового шарнира. Замеряется непосредственно на стенде. $l_0 = 350$ мм. $k_p = 1,7$. Получаем $F_{ц} = 4078$ Н. Учитывая наклон вертикального гидроцилиндра в продольной плоскости $\varphi_{ц} = 5^\circ$, (рисунок 3.10) раскладываем силу $F_{ц}$ на продольную $F_{п}$ и вертикальную $F_{в}$: (рисунок 3.11):

$$F_{в} = \cos F_{ц}, \quad (3.4)$$

$$F_{п} = \sin F_{ц}. \quad (3.5)$$

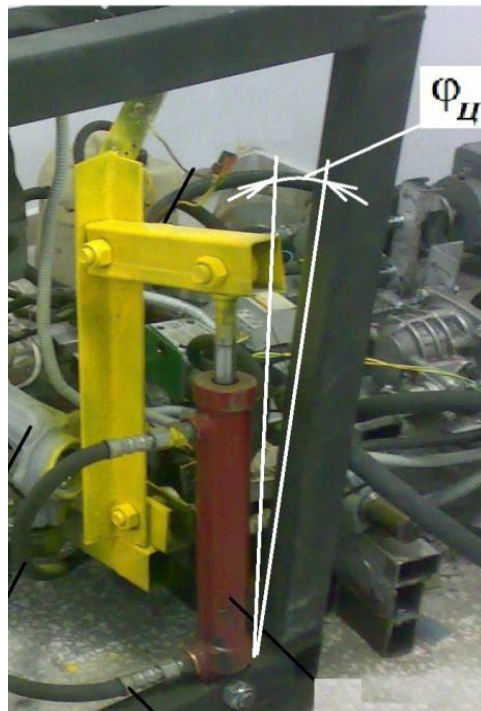


Рисунок 3.10 - Наклон вертикального гидроцилиндра в продольной плоскости на угол $\varphi_{ц}$

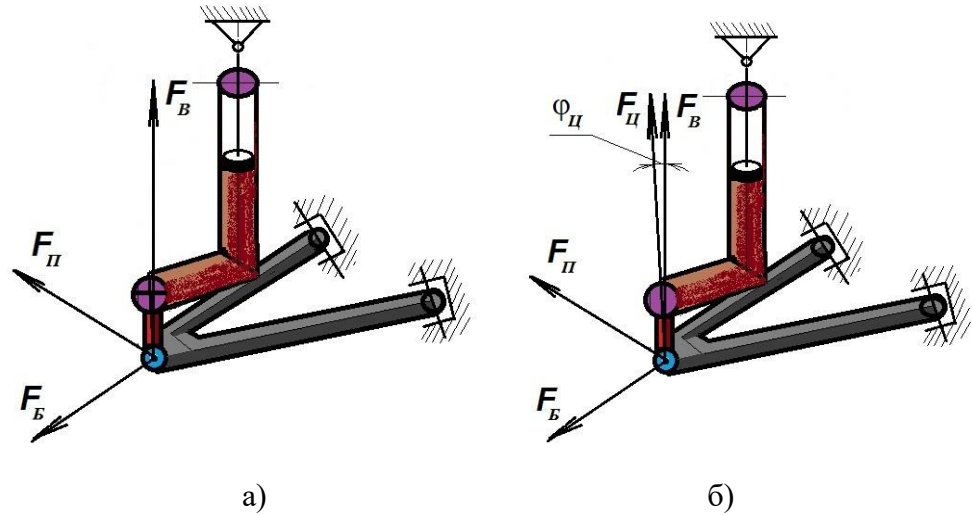


Рисунок 3.11 - Направление сил, действующих на шаровый шарнир:

а) в подвеске автомобиля; б) в стенде для испытания и диагностирования элементов подвески

Получаем $F_{\text{П}} = 355 \text{ Н}$; $F_{\text{В}} = 4063 \text{ Н}$.

Боковая нагрузка - $F_{\text{В}}$ возникающая в шаровом шарнире при работе стенда определяется из выражения:

$$F_{\text{В}} = p_{\text{доп}} s k_{\text{р доп}}, \quad (3.6)$$

где s – площадь поршня гидроцилиндра. Рабочий ход гидроцилиндра приходится как на растягивание штока, так и на сжатие штока, соответственно в расчетах используем как полную величину площади поршня s_1 (растяжение) без учета площади штока гидроцилиндра, так и площадь поршня за вычетом величины площади штока s_2 (сжатие).

Соответственно имеем два значения $F_{\text{В}}$:

$F_{\text{В}1}$ - боковая нагрузка при растяжении гидроцилиндра;

$F_{\text{В}2}$ - боковая нагрузка при сжатии гидроцилиндра:

$$s_1 = \frac{\pi D^2}{4} = 0,0013 \text{ м}^2,$$

$$s_2 = \frac{\pi(D_n^2 - D_{ш}^2)}{4} = 0,00018 \text{ м}^2. \quad (3.7)$$

Давление создаваемое предохранительным клапаном в дополнительной гидролинии $p_{\text{доп}} = 0,8 \text{ МПа}$.

$$k_{\text{р доп}} = \frac{l_{\text{доп}}}{l_{0\text{доп}}}, \quad (3.8)$$

$l_{\text{доп}}$ – расстояние от центра вращения стойки до точки крепления гидроцилиндра к рычагу стойки. Замеряется на стенде. $l = 260 \text{ мм}$.

$l_{0 \text{ доп}}$ - длина рычага стойки. Измеряется от оси крепления рычага до точки крепления рулевого наконечника. Замеряется на стенде. $l_0 = 170$ мм. $k_p = 1,53$.

Получаем:

$$F_{B1} = p_{\text{доп}} s_1 k_{p \text{ доп}} = 1591 \text{ Н},$$

$$F_{B2} = p_{\text{доп}} s_2 k_{p \text{ доп}} = 201,6 \text{ Н}.$$

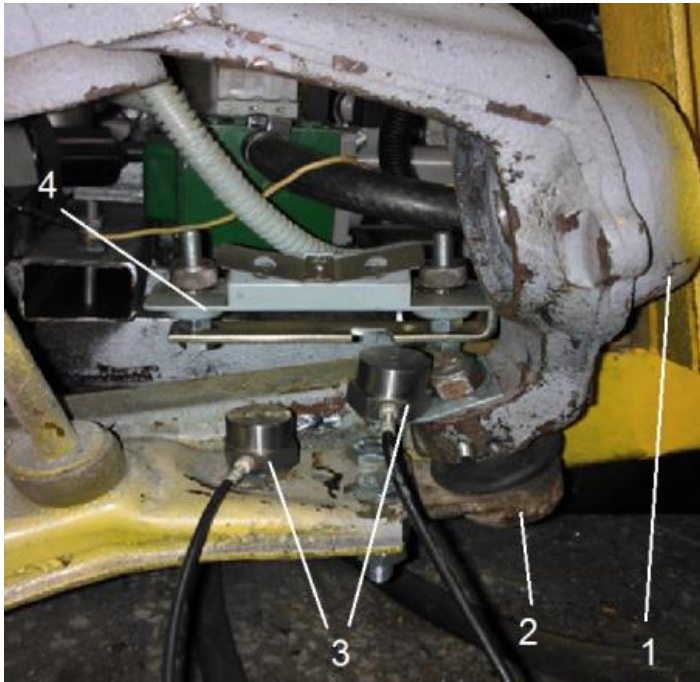
При проведении экспериментальных исследований на стенде для испытания и диагностирования элементов подвески в лабораторных условиях для диагностирования величины осевого зазора в шаровых шарнирах, давление в основной гидролинии изменяется и имеет два фиксированных значения 1,8 и 1,2 МПа. При этом для значения давления 1,2 МПа вертикальная нагрузка, согласно формуле 3.4 составляет 2709 Н. Предохранительный клапан, имеющий встроенный регулятор давления позволяет изменять вертикальную нагрузку в пределах от 150 до 4063 Н, а продольную нагрузку от 12, до 355 Н.

Таблица 3.1 – Максимальные силы, действующие на шаровый шарнир в подвеске автомобиля и в стенде для испытания и диагностирования элементов подвески

Максимальные силы, Н	Автомобиль «Daewoo Nexia»	Диагностический стенд
Продольная, $F_{\text{п}}$	149	12 - 355
Боковая, $F_{\text{б}}$	1512	30 - 1591
Вертикальная, $F_{\text{в}}$	179	150 - 4063

3.3 Приспособления и измерительные устройства для проведения лабораторного стендового экспериментального исследования

Для проведения экспериментальных исследований использовался стенд для испытания и диагностирования элементов подвески (п. 3.2), (рисунки 3.4 - 3.8), два вибродатчика ДН-3 (рисунок 3.12), соединительные провода к ним, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) со специализированными схемотехническими решениями, компьютер с установленным программным обеспечением для обработки сигналов от вибродатчиков LabVIEW SignalExpress (рисунок 3.13), устройство для контроля зазора в шаровом шарнире, состоящее из индикатора часового типа ИЧ-10 с измерительным наконечником и приспособление для его установки на стенде (рисунки 3.14, 3.15), тридцать шаровых шарниров с различной степенью износа (рисунок 3.16), Общий вид лабораторного комплекса для определения величины осевого зазора в шаровом шарнире легкового автомобиля представлен на рисунке 3.17.



а)



б)

Рисунок 3.12 – Измерительная часть станда:

а) вибродатчики установленные на станде; б) общий вид вибродатчика.

1 – поворотный кулак, 2 шаровый шарнир, 3 – вибродатчики ДН-3, 4 - устройство для измерения величины осевого зазора

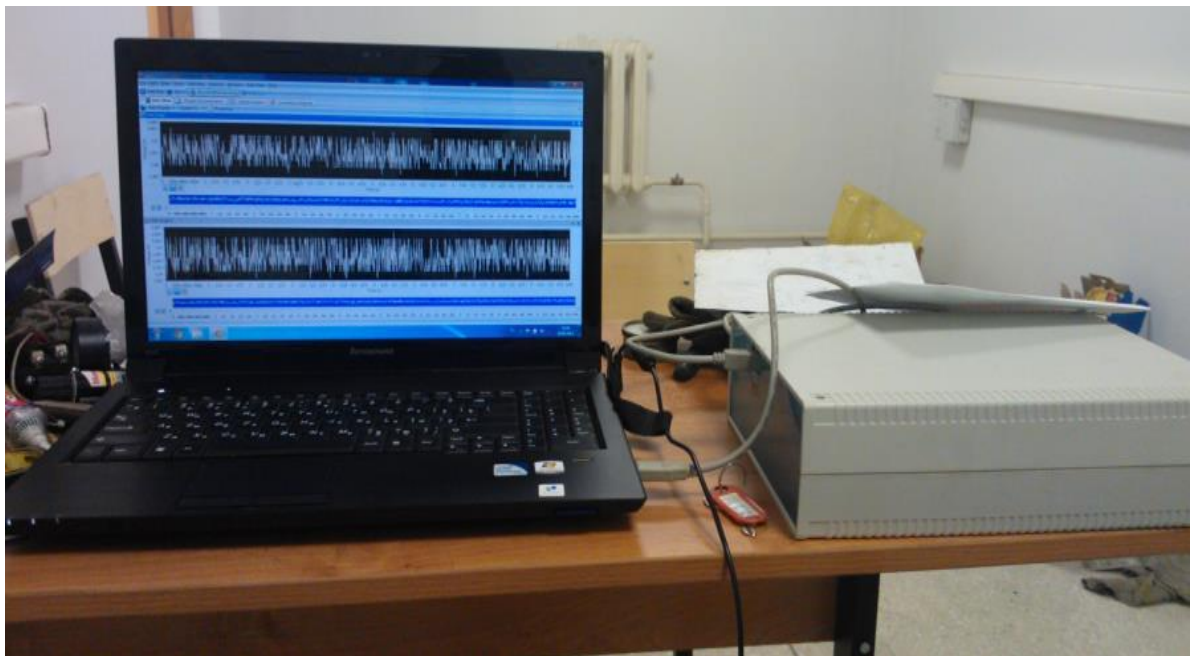


Рисунок 3.13 – Общий вид преобразовательной и обрабатывающей части лабораторного диагностического комплекса

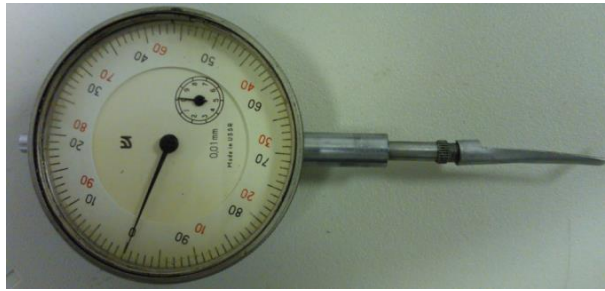
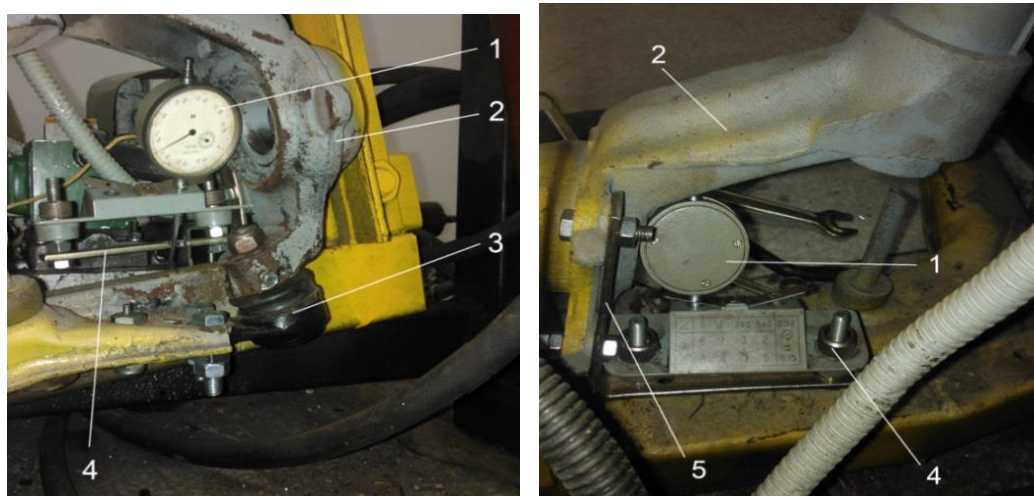


Рисунок 3.14 – Общий вид индикатора часового типа ИЧ-10, с измерительным наконечником, используемого для измерения осевого зазора в шаровом шарнире



а)

б)

Рисунок 3.15 - Устройство для измерения зазора в шаровом шарнире установленное на стенде:

а) вид спереди; б) вид сзади;

1 – индикатор часового типа ИЧ – 10, 2 – поворотный кулак, 3 – шаровая опора, 4 - устройство для измерения зазора, 5- кронштейн крепления устройства



Рисунок 3.16 – Шаровые шарниры принятые для экспериментальных исследований



Рисунок 3.17 – Общий вид лабораторного комплекса для диагностирования технического состояния шаровых шарниров

Исследования показали высокую зашумленность сигналов при измерении виброускорения, что влечет за собой необходимость применения схемотехнических решений для минимизации негативного эффекта. Структурная схема, реализующая эту задачу, представлена на рисунке 3.18

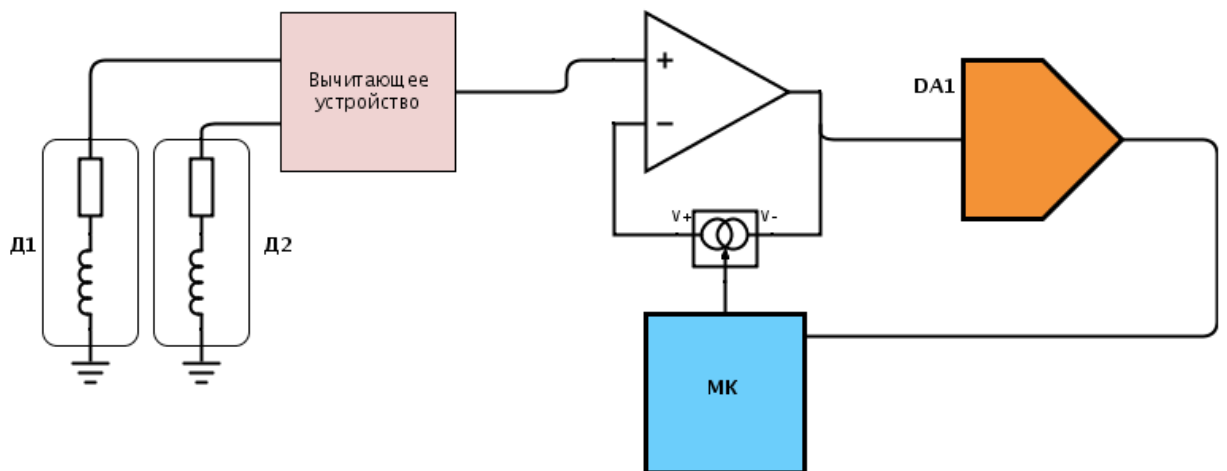


Рисунок 3.18 – Структурная схема устройства измерения вибрации

Сигналы с вибродатчиков Д1 и Д2 поступают на вычитающее устройство. Причем Д1 установлен непосредственно вдоль рабочей оси шарового шарнира, а Д2 установлен на рычаге подвески. В итоге на выходе вычитающего устройства появляется сигнал с учетом уменьшения внешних шумовых вибраций, для повышения точности измерения. Следует отметить, что необходимо обеспечить параллельность рабочих осей вибродатчиков. За вычитающим устройством сигнал поступает на инструментальный усилитель с изменяемым коэффициентом усиления, управляемым микроконтроллером (МК), для нормализации и предварительной обработки сигнала, для дальнейшего преобразования АЦП (DA1). Данные с АЦП буферизируются в памяти микроконтроллера, а затем поступают на компьютер для дальнейшего анализа.

3.4 Способ проведения лабораторного стендового экспериментального исследования

Анализ таких вопросов, как контроль состояния машин по результатам измерений вибраций на невращающихся частях, системы измерений вибрации вращающихся валов, приборы виброизмерительные, обозначения и единицы величин вибраций, установки испытательные вибрационные, калибровка датчиков вибрации и удара и другие нормативные документы [109-119], а так же зарубежных источников [120, 121] был использован для разработки способа определения технического состояния шаровых шарниров, в условиях лабораторных стендовых исследований и в условиях автосервисного предприятия.

Процесс проведения экспериментов включает в себя:

1. Установка шарнира на стенд;
2. Контрольное измерение осевого зазора с помощью устройства для измерения осевого зазора.
3. Прогрев стенда (работа стенда в режиме малых нагрузок в течении 2 мин.). Установка испытательного стенда в рабочее положение (точка срабатывания нижнего рабочего концевого выключателя).
4. Запуск и настройка программного обеспечения, проверка работы АЦП и вибродатчиков.
5. Настройка рабочего давления в основной гидролинии на величину 1,8 МПа с помощью регулировочного штока предохранительного клапана основной гидролинии. Величина давления контролируется по показаниям манометра основной гидролинии.

6. Запуск стенда и снятие показаний вибродатчиков с помощью компьютера и программного обеспечения LabVIEW SignalExpress. Количество циклов движения испытательного образца – 12.

7. Остановка стенда. Проверка и сохранение полученных данных с помощью программного обеспечения LabVIEW SignalExpress [122].

Параметры, нуждающиеся в настройке и регулировке перед проведением исследований на испытательном стенде:

1) Место расположения и ориентация вибродатчиков относительно друг друга и относительно испытательного образца (шарового шарнира).

Для получения достоверных результатов испытаний первый вибродатчик необходимо располагать в контакте с испытательным образцом с соблюдением параллельности продольных осей вибродатчика и шарового шарнира. Это позволяет получать информацию о вибрациях возникающих непосредственно в испытательном образце. Второй вибродатчик должен воспринимать общую вибрацию характерную для подвески. Экспериментальным путем было установлено, что наиболее оптимальным местом расположения второго вибродатчика является верхняя плоскость рычага подвески (рисунок 3.19) на расстоянии $l=15$ см. от первого вибродатчика [86]. Оба вибродатчика установлены в одной плоскости.

2) Место расположения рабочих концевых выключателей и угол их наклона определяют:

- момент их срабатывания при испытаниях;
- рабочий ход штока гидроцилиндра и соответственно частоту его работы, и частоту работы всего стенда;
- расстояния до рабочей верхней и рабочей нижней мертвых точек относительно максимальных верхней и нижней мертвых точек (рисунок 3.20).

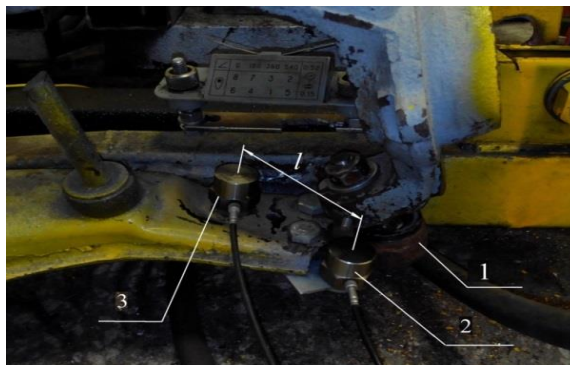


Рисунок 3.19 - Схема расположения вибродатчиков относительно друг друга и рабочих элементов стенда:

l - расстояние между вибродатчиками; *1* - испытательный образец - шаровый шарнир;
 2 - вибродатчик №1; 3 - вибродатчик №2

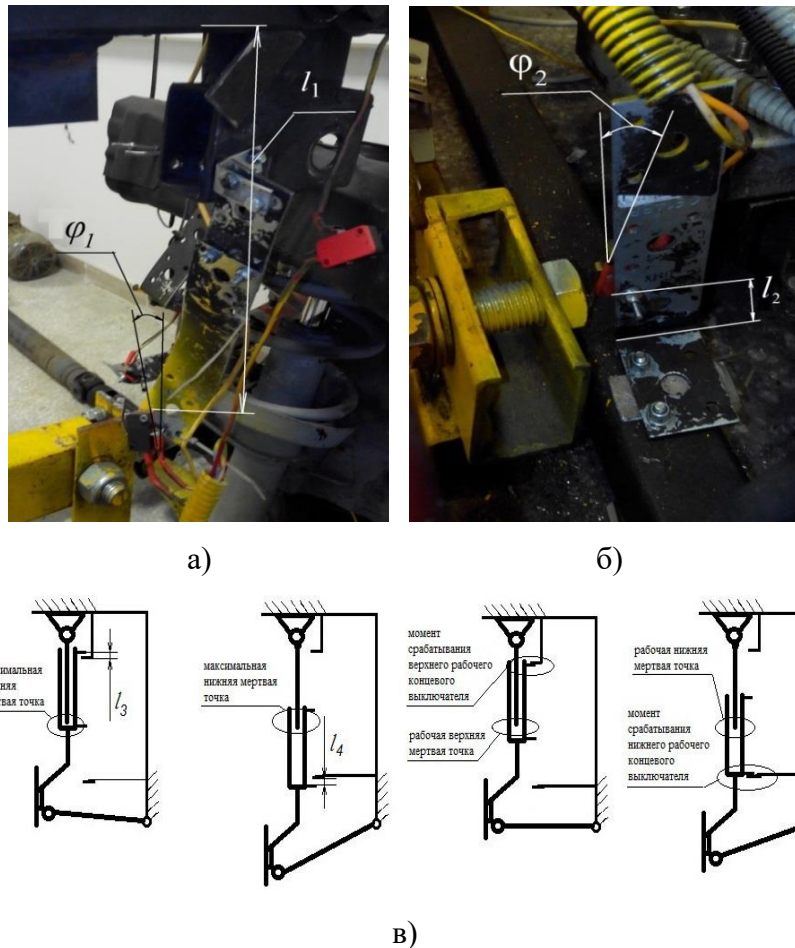


Рисунок 3.20 - Схема расположения рабочих концевых выключателей:

а) - верхний концевой выключатель; б) - нижний концевой выключатель; в) - схема действия рабочих концевых выключателей; l_1 - расстояние от верхнего концевых выключателя до верхнего профиля рамы; φ_1 - угол наклона верхнего концевых выключателя; φ_2 - угол наклона нижнего концевых выключателя; l_2 - расстояние от нижнего концевых выключателя до нижнего профиля рамы; l_3 - расстояние от максимальной верхней мертвой точки до рабочей верхней мертвой точки; l_4 - расстояние от максимальной нижней мертвой точки до рабочей нижней мертвой точки

Экспериментальным путем установлено, что нижний рабочий концевой выключатель должен быть установлен на расстоянии $l_2 = 3$ см. от нижнего профиля рамы (рисунок 3.20 б) под углом $\varphi_2 = 20$ градусов. Верхний рабочий концевой выключатель должен быть установлен на расстоянии $l_1 = 30$ см. от верхнего профиля рамы (рисунок 3.20 а) под углом $\varphi_1 = 15$ градусов, что соответствует рабочему ходу штока гидроцилиндра в 140 мм. Частота работы стенда при этом составляет 1,8- 2,2 Гц. Расстояние от максимальной нижней мертвой точки до рабочей нижней мертвой точки l_4 составляет 35 мм. Расстояние от максимальной верхней мертвой точки до рабочей верхней мертвой точки l_3 составляет 55 мм (рисунок 3.20 в).

3) Сопряжение верхнего поперечного рычага и продольного рычага определяют:

- угол наклона φ_3 регулируемой части соединяющего рычага гидроцилиндра (рисунок 3.21), который позволяет согласовать фактические верхнюю и нижнюю мертвые точки подвески с соответствующими мертвыми точками штока гидроцилиндра.

- зазор между верхним поперечным рычагом 1 и продольным рычагом 2 (рисунок 3.21) необходимым для компенсации недостаточной подвижности шарнирного соединения 4 штока гидроцилиндра с верхним поперечным рычагом 1. Экспериментальным методом установлено, что угол наклона φ_3 составляет 90 градусов, зазор h_p между верхним поперечным рычагом 1 и продольным рычагом 2 составляет 4 мм (рисунок 3.21).

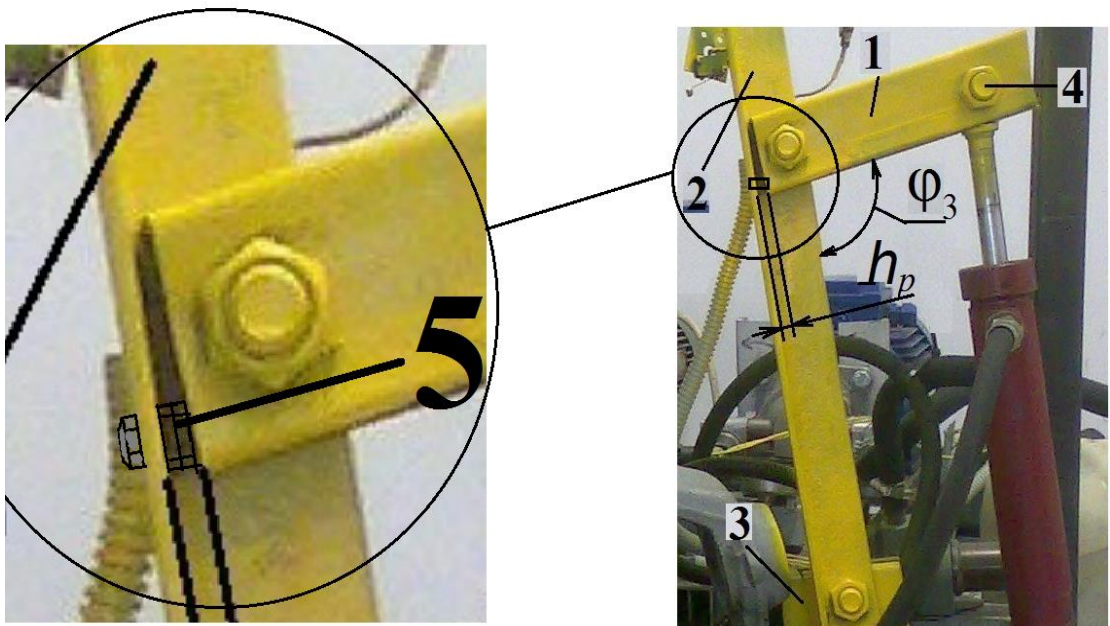


Рисунок 3.21 - Схема соединяющего рычага гидроцилиндра:

φ_3 - угол между верхним поперечным рычагом и продольным рычагом; h_p - зазор между верхним поперечным рычагом и продольным рычагом, 1 - верхний поперечный рычаг; 2 - продольный рычаг, 3 - нижний поперечный рычаг, 4 - шарнирное соединение штока гидроцилиндра с верхним поперечным рычагом, 5 - регулировочный винт

3.5 Обработка и анализ результатов экспериментального исследования с помощью программного обеспечения LabVIEW SignalExpress

При проведении экспериментальных исследований на основе программного обеспечения LabVIEW SignalExpress [123] имеем графики зависимости величины виброускорения, от времени проведения эксперимента.

Обработка результатов экспериментов происходит следующим образом: каждый полученный график анализируется, в частности фиксируются показания каждого цикла – максимальные значения виброускорения, средние значения виброускорения, скачки

виброускорения. Таким образом, для анализа используются следующие характеристики сигнала – амплитуда (верхнее и нижнее значение), двойная амплитуда (пиковое и среднее значения), период.

Каждый эксперимент состоит из 12 циклов (зона 6) рисунок 3.22. Цикл – это работа станда в промежутке времени между повторными срабатываниями одного рабочего концевого выключателя (зона 2) (в нашем случае - нижнего) (рисунок 3.20 в, 3.22).

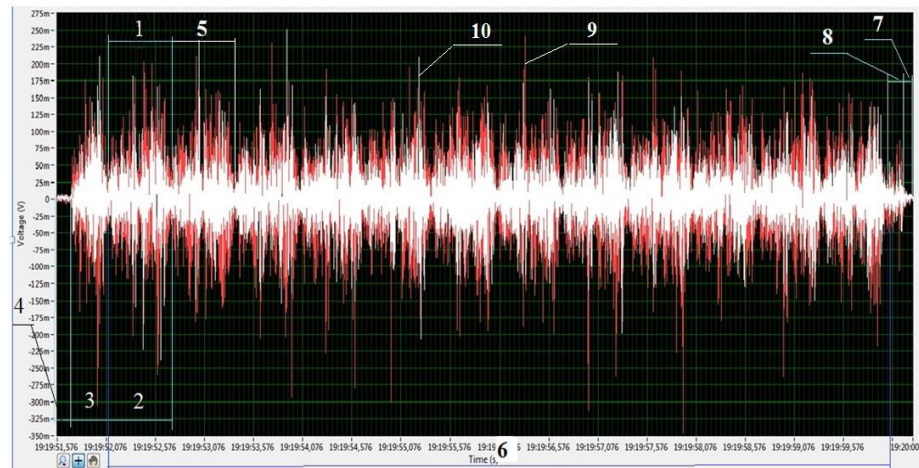


Рисунок 3.22 - Основные характеристики эксперимента:

1 - фаза один, 2- цикл, 3 - начальная фаза, 4 - сигнал предшествующий включению станда (проведению испытаний), 5 - фаза два, 6 - рабочие циклы эксперимента, 7 - сигнал после выключения станда (завершения испытаний), 8 - конечная фаза, 9 - график соответствующий датчику, установленному на испытательном образце – шаровой опоре; 10 - график соответствующий датчику, установленному на рычаге подвески станда для диагностирования и испытания элементов подвески

При оценке полученных графиков для исключения влияния погрешностей связанных с пропусками сигналов и ложными сигналами при проведении экспериментов, в каждом графике оцениваются и сравниваются между собой каждый из 12 циклов. Это позволяет исключить скачки сигналов связанные с ложными сигналами и пропусками сигналов из последующего анализа графиков.

Цикл состоит из двух фаз. Фаза один – это прохождение верхней мертвой точки и срабатывание верхнего рабочего концевого выключателя (зона 1) (рисунок 3.20 в, 3.22).

Фаза два – прохождение нижней мертвой точки и срабатывание нижнего концевого выключателя (зона 5) (рисунок 3.20 в, 3.22). Таблицы данных по экспериментам (приложение 1) имеют следующие обозначения:

1 – верхнее максимальное значение амплитуды (среднее арифметическое от всех фаз эксперимента значение максимальной положительной величины сигнала, без учета максимальной (пиковой) величины сигнала);

2 – среднее значение верхней амплитуды (среднее арифметическое от всех фаз эксперимента значение средней положительной величины сигнала, без учета максимальной (пиковой) величины сигнала);

3 – нижнее максимальное значение амплитуды (среднее арифметическое от всех фаз эксперимента значение максимальной отрицательной величины сигнала, без учета максимальной (пиковой) величины сигнала);

4 – среднее значение нижней амплитуды (среднее арифметическое от всех фаз эксперимента значение средней отрицательной величины сигнала, без учета максимальной (пиковой) величины сигнала);

5 – период (зона 2, рисунок 3.22, 3.23), мс

Значения амплитуды приводятся в mV.

На втором этапе происходит сравнительный анализ трех экспериментов в каждом цикле испытаний и вычисление средних показателей всех характеристик.

На третьем этапе проводится сравнительный анализ усредненных показателей характеристик всех испытательных образцов.

В итоге получаем по взаимосвязь величины осевого зазора h каждого шарового шарнира со всеми характеристиками, полученными и обработанными в ходе проведения эксперимента, а также выявляем более значимые характеристики и менее значимые характеристики на которые оказывает влияние осевой зазор h .

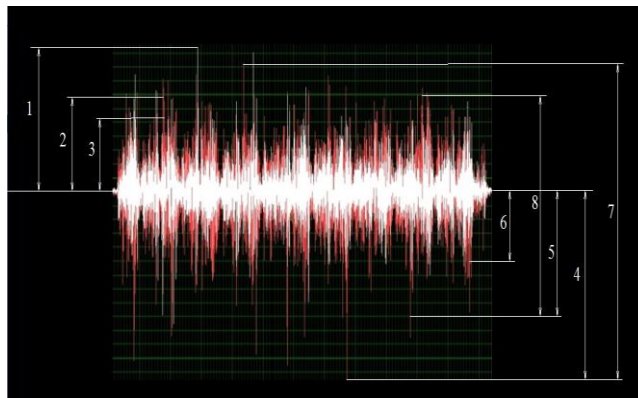


Рисунок 3.23 - Амплитудные характеристики эксперимента:

1 – верхнее пиковое значение амплитуды; 2 – верхнее максимальное значение амплитуды; 3 – среднее значение верхней амплитуды; 4 – Нижнее пиковое значение амплитуды; 5 – Нижнее максимальное значение амплитуды; 6 – Среднее значение нижней амплитуды; 7 – Двойное пиковое значение амплитуды; 8 – Двойное значение максимальной амплитуды

На совместных графиках расположены по одному графику для каждого вибродатчика. График (поз.10) соответствует датчику, установленному на рычаге подвески испытательного стенда. График (поз.9) соответствует датчику, установленному на испытательном образце – шаровом шарнире (рисунок 3.19).

Результаты представлены в виде таблиц 1-8 (приложение В).

Датчик №1 – датчик, установленный на испытательном образце (график красного цвета). Датчик №2 – датчик, установленный на рычаге подвески испытательного стенда (график белого цвета).

В таблицах приложения В $\Sigma 1$, $\Sigma 2$ – суммы значений величин соответственно всех первых и всех вторых фаз циклов эксперимента.

3.6 Обработка результатов экспериментального исследования по критерию достоверности

Методов обработки результатов измерений с многократными наблюдениями представлены в ГОСТ 8.207-76 [124].

В качестве результата измерения используют среднее арифметическое данных n наблюдений, из которых изъяты систематические погрешности, в нашем случае это пропуски сигналов, ложные сигналы, скачки напряжения в сети, а так же погрешности связанные с работой диагностического стенда.

При статистической обработке групп результатов наблюдений необходимо:

- исключить из каждого наблюдения систематическую известную погрешность, что позволяет найти исправленный результат отдельного наблюдения x .
- определить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.10)$$

- вычислить оценку S среднего квадратического отклонения группы наблюдений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}, \quad (3.11)$$

Найти грубые погрешности, в частности, нет ли значений $(x_i - \bar{x})$, которые могут выходить за пределы $\pm 3S$. Для нормального закона распределения с вероятностью, очень близкой к 1 (0,997), все из значений этой разности должно находиться в указанных пределах.

Если имеются значения выходящие за указанные пределы, то следует изъять из рассмотрения соответствующие значения x_i и снова провести вычисления \bar{x} и оценку S .

- вычислить оценку СКО $S(\bar{x})$ результата измерения (среднего арифметического):

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (3.12)$$

- проверить гипотезу о нормальности распределения результатов наблюдений.

При числе экспериментов не превышающих 15 согласно ГОСТ их принадлежность к нормальному распределению не проверяют. Вычисляют доверительные границы ε случайной погрешности измерения:

$$\varepsilon = t_q S(\bar{x}), \quad (3.13)$$

где t_q - коэффициент Стьюдента, он зависит от числа наблюдений и доверительной вероятности.

3.7 Способ проведения экспериментального исследования в условиях автосервисного предприятия

Для внедрения способа диагностирования в условия автосервисного предприятия используем за основу способ стендового лабораторного исследования с внесением в него соответствующих поправок.

Для проведения экспериментального исследования в условиях автосервисного предприятия использовался автомобиль «Daewoo Nexia» (рисунок 3.24) и испытательные образцы - шаровые шарниры с заведомо известными зазорами в сопряжении шаровой шарнир – полимерный вкладыш (рисунок 3.16), два вибродатчика ДН-3 (рисунок 3.25), соединительные провода к ним, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), компьютер с установленным программным обеспечением – программой для обработки сигналов от вибродатчиков LabVIEW SignalExpress (рисунок 3.26).

При этом использовались те же шарниры, что и при проведении лабораторного стендового исследования.

Установка датчиков на шарнирах на автомобиле осуществлялась аналогично установке их на стенде для испытания и диагностирования элементов подвески (рисунки 3.19, 3.26, 3.27).



Рисунок 3.24 – Автомобиль «Daewoo Nexia», используемый для проведения исследований в условиях автосервисного предприятия

В качестве источника возвратно-поступательных движений подвески и соответственно вибраций возникающих в шаровом шарнире использовался вибрационный стенд для проверки подвески легковых автомобилей Zippo 8090 [125-127] (рисунок 3.28).

Методика проведения экспериментов в условиях автосервисного предприятия аналогична методике проведения экспериментов в лабораторных условиях.

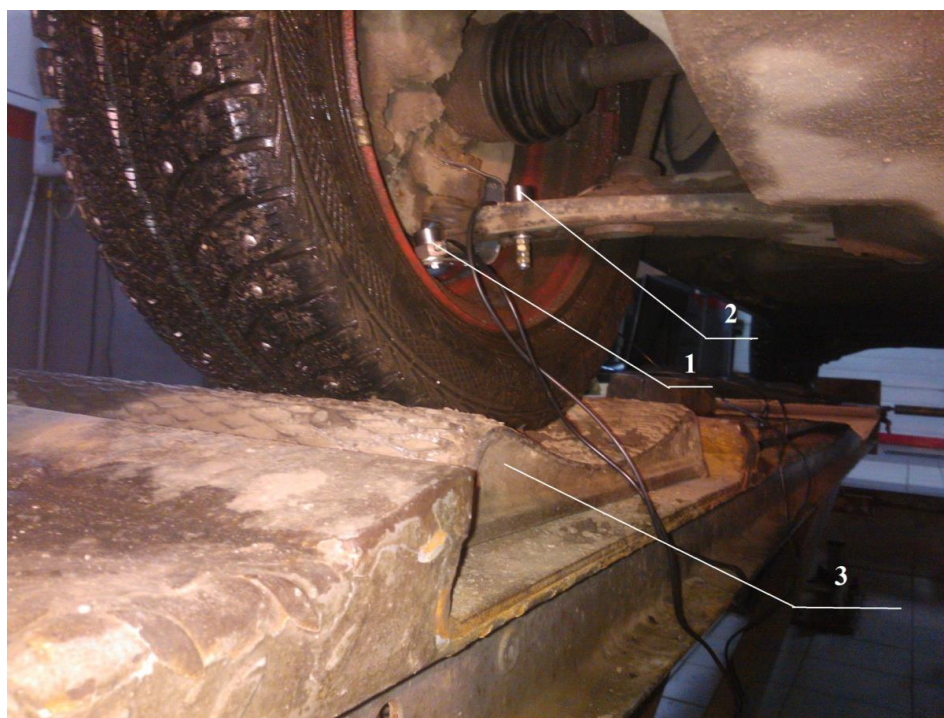


Рисунок 3.25 – Расположение вибродатчиков ДН-3 на диагностируемом автомобиле:
1 - вибродатчик №1; 2 - вибродатчик №2; 3 – платформа люфт-детектора



Рисунок 3.26 – Обрабатывающие и преобразовательные элементы диагностического комплекса

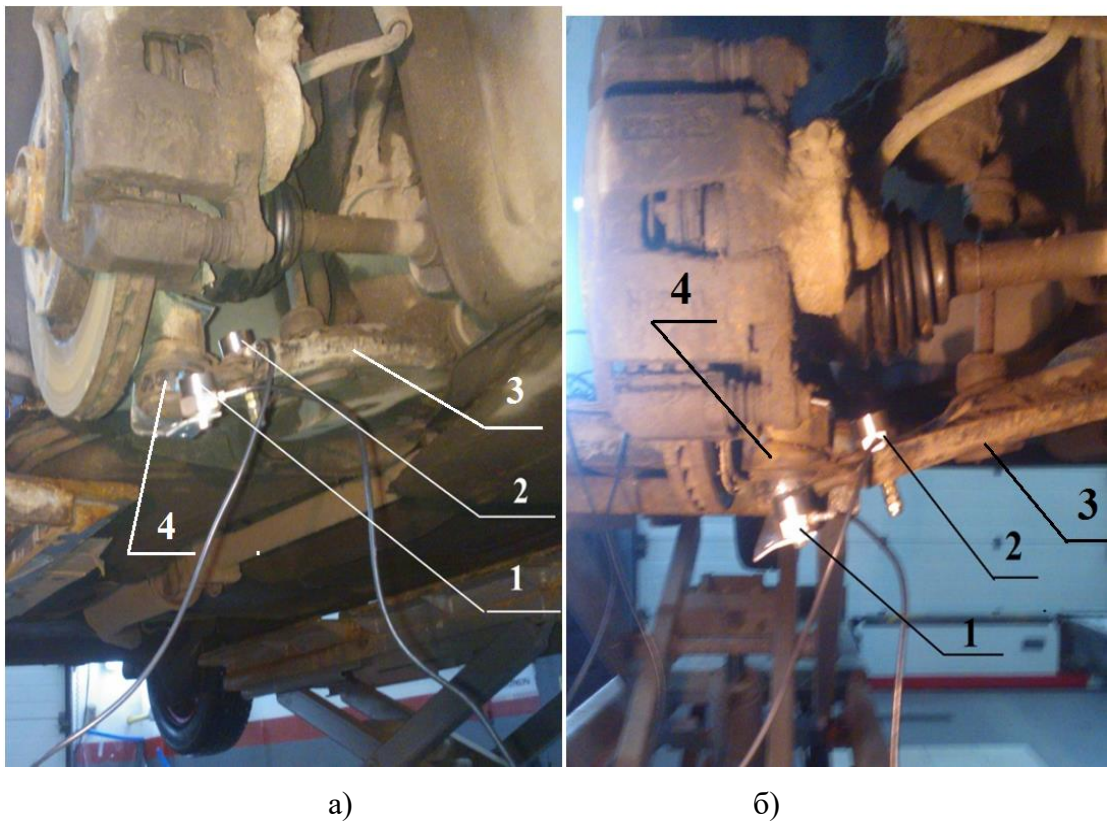


Рисунок 3.27 – Установка вибродатчиков на диагностируемый автомобиль:

а) вид снизу, б) вид спереди

1 - вибродатчик №1, 2 - вибродатчик №2, 3 - рычаг подвески, 4 - Шаровый шарнир (испытательный образец)

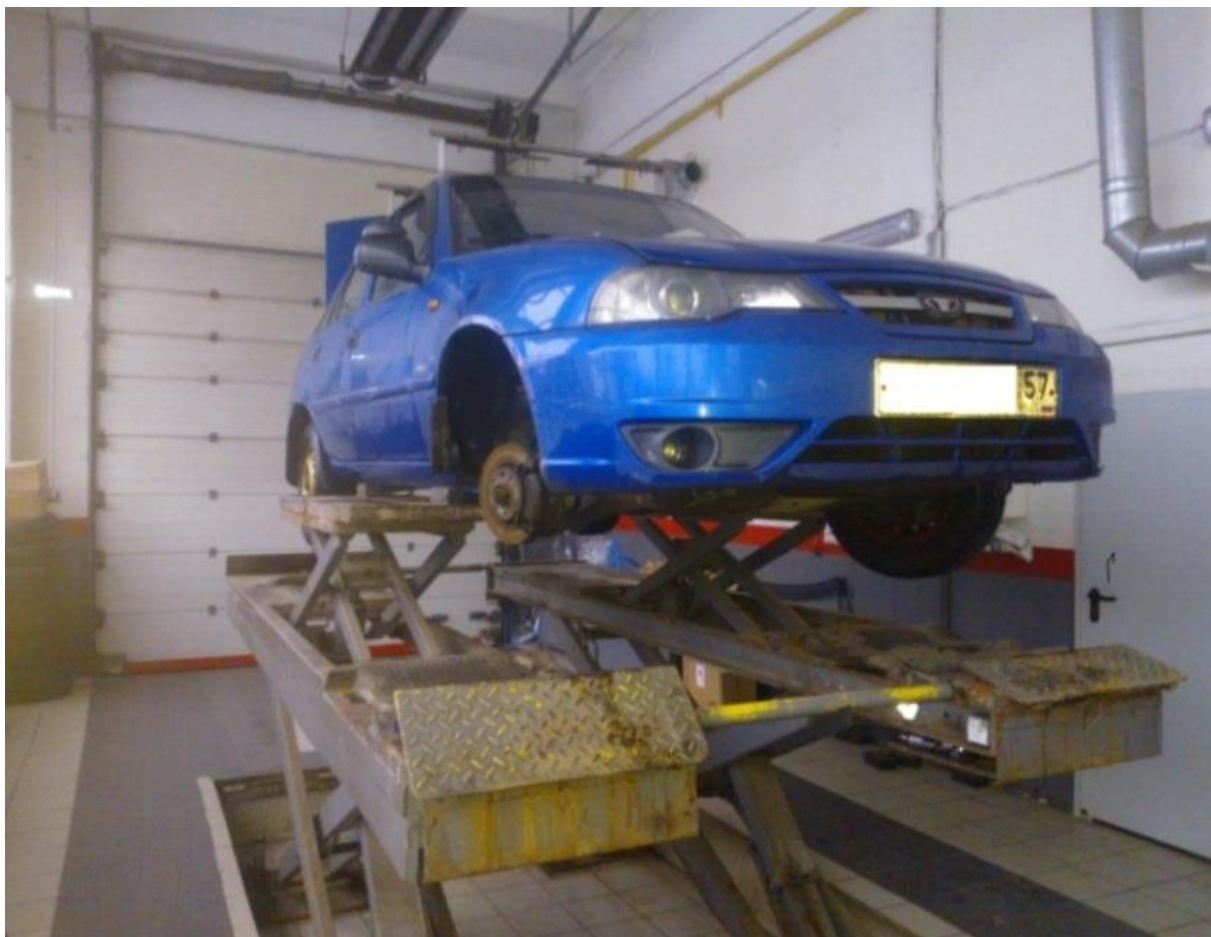


Рисунок 3.28 – Общий вид детектора люфтов Zippo 8090 с диагностируемым автомобилем

Выводы по главе

1. Спроектирован стенд для испытания и диагностирования элементов подвески вибрационным способом, защищенный патентом РФ. Определены нагрузки, возникающие в шаровом шарнире, при проведении исследований. Получены следующие значения: продольная нагрузка F_{nm} в пределах от 12, до 355 Н; боковая нагрузка F_{BT} от 30, до 1591 Н; вертикальная нагрузка F_{BT} от 150, до 4063 Н.

2. Стенд для испытания и диагностирования элементов подвески обеспечивает возможность проведения ускоренных ресурсных испытаний шаровых шарниров. Частота работы стенда определяется экспериментальным путем и находится в пределах от 1,8, до 2,2 Гц, что соответствует движению легкового автомобиля по дороге с гравийным покрытием со скоростью 5 - 15 км/ч.

3. Разработано приспособление для контроля осевого зазора h в шаровом шарнире в условиях стендовых исследований механическим способом на основе индикатора часового типа ИЧ-10.

4. Разработан способ определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах, защищенный патентом РФ. Погрешность данного способа составляет не более 10% с учетом пропусков сигнала, ложных сигналов, скачков напряжения в сети, а так же погрешностей связанных с работой диагностического оборудования.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОСЕВОГО ЗАЗОРА В ШАРОВЫХ ШАРНИРАХ

Задача экспериментальных исследований состоит в проведении экспериментальных исследований для установления взаимосвязи величины осевого зазора в шаровом шарнире с величиной виброускорения в условиях лабораторного стендового исследования, а так же в условиях автосервисного предприятия вибрационным способом. Полученные графики служат основой для определения технического состояния шаровых шарниров легкового автомобиля.

4.1 Результаты лабораторного стендового экспериментального исследования по определению величины осевого зазора в шаровых шарнирах подвески легковых автомобилей

Для экспериментального исследования использовали тридцать шаровых шарниров с различной степенью изношенности. В качестве эталона использовалась шаровый шарнир №1. Осевой зазор h всех шарниров был замерен на стенде механическим способом с помощью специализированного приспособления. Каждый из шарниров был пронумерован.

Каждый шарнир подвергался экспериментальным исследованиям два раза при давлении 1,8 МПа (частота движения испытательного образца 2 Гц), в условиях максимально приближенным к реальным условиям эксплуатации автомобиля согласно методике диагностирования. Для этого пункты 6 и 7 повторяются после первого эксперимента два раза. Далее осуществлялся контрольный замер осевого зазора (п. 3.4). В таблице 4.1 приведены основные характеристики всех шарниров.

Таблица 4.1 - Исследуемые характеристики шарниров

Шаровый шарнир	Величина осевого зазора, мм	Степень износа	Характеристика образца
1	2	3	4
№1	0,01	отсутствует (0,16 %)	Новый, без эксплуатации
№2	0,12	13,3%	Изъятый из эксплуатации
№3	0,21	18,3 %	Изъятый из эксплуатации
№4	0,21	18,3 %	Изъятый из эксплуатации
№5	0,23	21,7 %	Изъятый из эксплуатации

1	2	3	4
№6	0,24	23,3 %	Изъятый из эксплуатации
№7	0,28	30 %	Изъятый из эксплуатации
№8	0,29	31,7 %	Изъятый из эксплуатации
№9	0,30	33,3 %	Изъятый из эксплуатации
№10	0,31	35 %	Изъятый из эксплуатации
№11	0,33	38,3 %	Изъятый из эксплуатации
№12	0,36	43,3 %	Изъятый из эксплуатации
№13	0,39	48,3 %	Изъятый из эксплуатации
№14	0,46	60 %	Изъятый из эксплуатации
№15	0,54	73,3 %	Изъятый из эксплуатации
№16	0,59	81,7%	Изъятый из эксплуатации
№17	0,64	90 %	Изъятый из эксплуатации
№18	0,68	96,7 %	Изъятый из эксплуатации
№19	0,68	96,7 %	Изъятый из эксплуатации
№20	0,72	103,3 %	Выработавший свой ресурс
№21	0,74	106,7 %	Изъятый из эксплуатации
№22	0,81	118,3 %	Изъятый из эксплуатации
№23	0,84	123,3 %	Выработавший свой ресурс
№24	0,86	126,7 %	Выработавший свой ресурс
№25	0,88	130 %	Изъятый из эксплуатации
№26	0,89	131,7 %	Изъятый из эксплуатации
№27	0,91	135 %	Выработавший свой ресурс
№28	0,92	136,7 %	Выработавший свой ресурс
№29	0,94	140 %	Выработавший свой ресурс
№30	0,96	143,3 %	Выработавший свой ресурс

Анализ данных в таблице 4.1 показал, что дальнейшие исследования целесообразно проводить для шарниров, представленных в таблице 4.2, 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 4.2 - Исследуемые характеристики шарниров для экспериментов для задач анализа

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

Эксперименты можно считать успешными при условии, что величина осевого зазора до и после проведения экспериментов измеренная с помощью контрольного устройства (рисунок 3.15) различается не более чем на 10%.

В диссертационной работе рассмотрены эксперименты на примере шести шарниров (таблица 4.2), в каждом следующем из которых величина осевого зазора увеличивается с шагом 0,13-0,2 мм начиная от зазора 0,01 мм (образец №1), до 0,89 мм (образец №6). Остальные эксперименты представлены в приложении В.

4.1.1 Результаты экспериментального исследования

Образец №1 – шаровый шарнир с величиной осевого зазора $h = 0,01$ мм, новый, без эксплуатации на автомобиле. Этот шарниров принят за эталон.

Обработка результатов экспериментов представлена при величине давления в гидросистеме 1,8 МПа (частота движения экспериментального образца 2 Гц).

Для каждого из шести испытательных образцов представленных в диссертации приведены по два графика зависимости величины виброускорения от времени проведения эксперимента. Графики приведены в порядке возрастания осевого зазора в шарнирах и представлены на рисунках 4.1 - 4.16.

Для наглядности изображения на графиках представлены зависимости с обрезкой начальной и конечной зон (период от начала записи сигнала, до момента запуска стенда и период от остановки стенда до момента окончания записи соответственно), а так же зоны неустановившегося движения (момент от начала движения стенда, до точки начала отсчета сигнала).

На рисунках 4.1 и 4.2 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №1 с осевым зазором 0,01 мм. Шарнир без эксплуатации на автомобиле, принят за эталон.

Анализ графиков показывает минимальные значения виброускорения характерные для белого, импульсного и других случайных шумов возникающих в вибродатчиках, соединительных кабелях и аналого-цифровом преобразователе. Величина напряжения получаемого от вибродатчика при этом составляет в верхнем диапазоне 14 - 16 мV, в нижнем диапазоне от -10 до -18 мV. Отсутствие виброускорения в шарнире объясняется отсутствием перемещения корпуса шарнира относительно шарового пальца и минимальным зазором установленным конструктивно для возможности вращения пальца относительно корпуса шарнира.

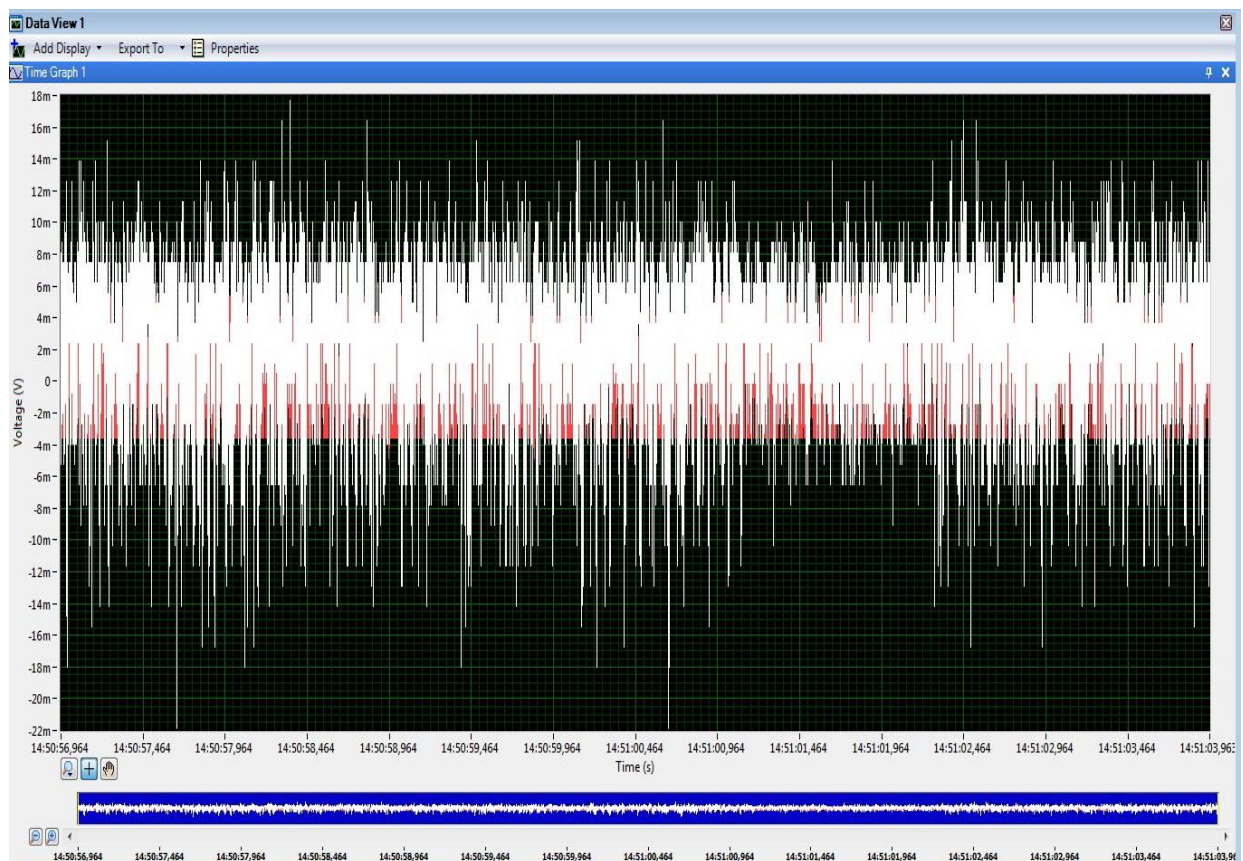


Рисунок 4.1 – Общий вид графика, зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №1, величина осевого зазора 0,01 мм. Эксперимент №1

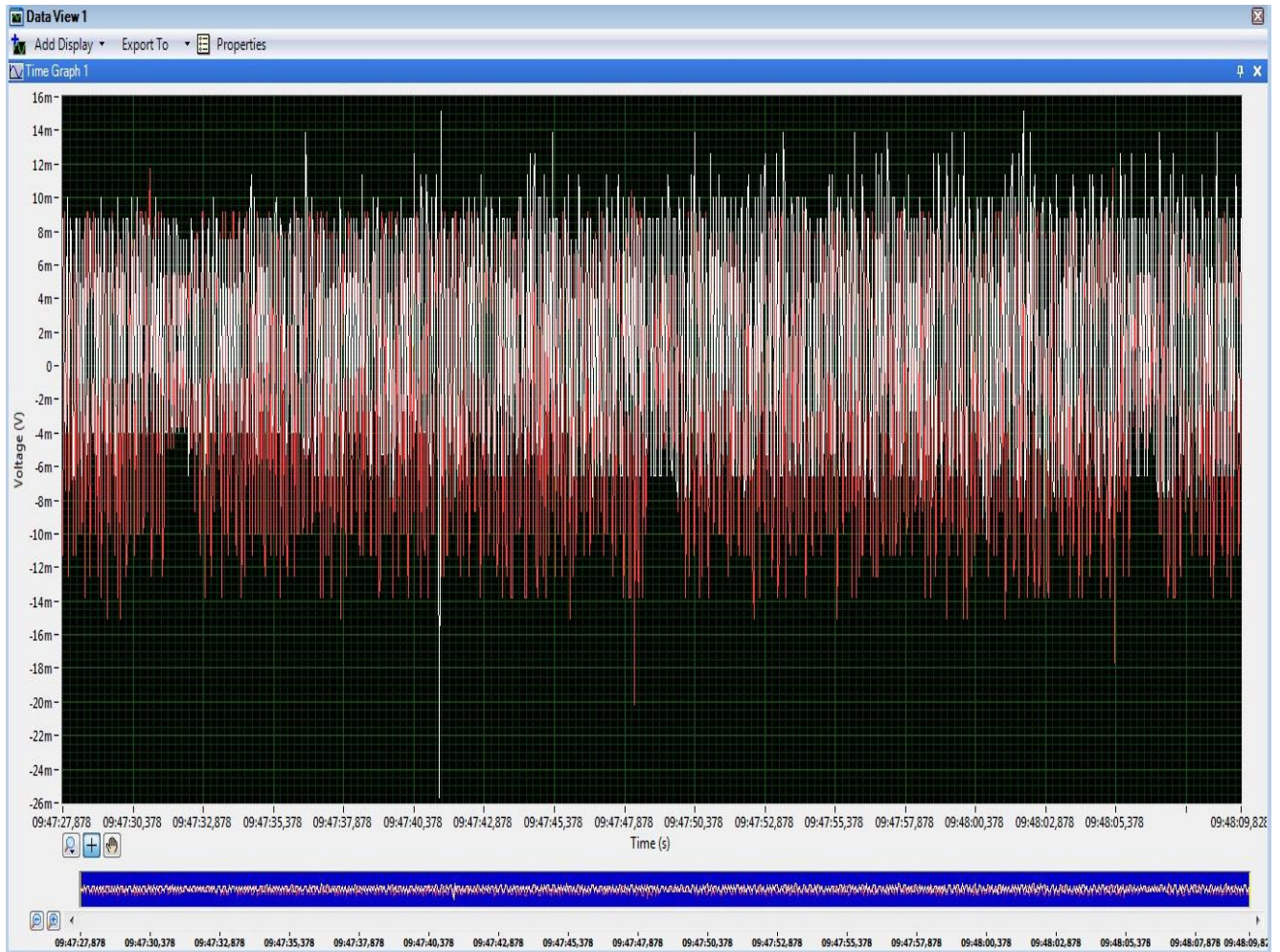


Рисунок 4.2 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №1, величина осевого зазора 0,01 мм. Эксперимент №2

На рисунках 4.3 и 4.4 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №3 с осевым зазором 0,24 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке около 12000 км.

Анализ графиков показал возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика при этом составляет в верхнем диапазоне 150 - 300 mV, в нижнем диапазоне от -100 до -250 mV. Возрастание виброускорения в шарнире №3 объясняется увеличением амплитуды перемещения шарового пальца относительно корпуса шарнира, которая равна величине осевого зазора (0,24 мм).

На рисунках 4.5 и 4.6 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №4 с осевым зазором 0,39 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке примерно 20000 км.

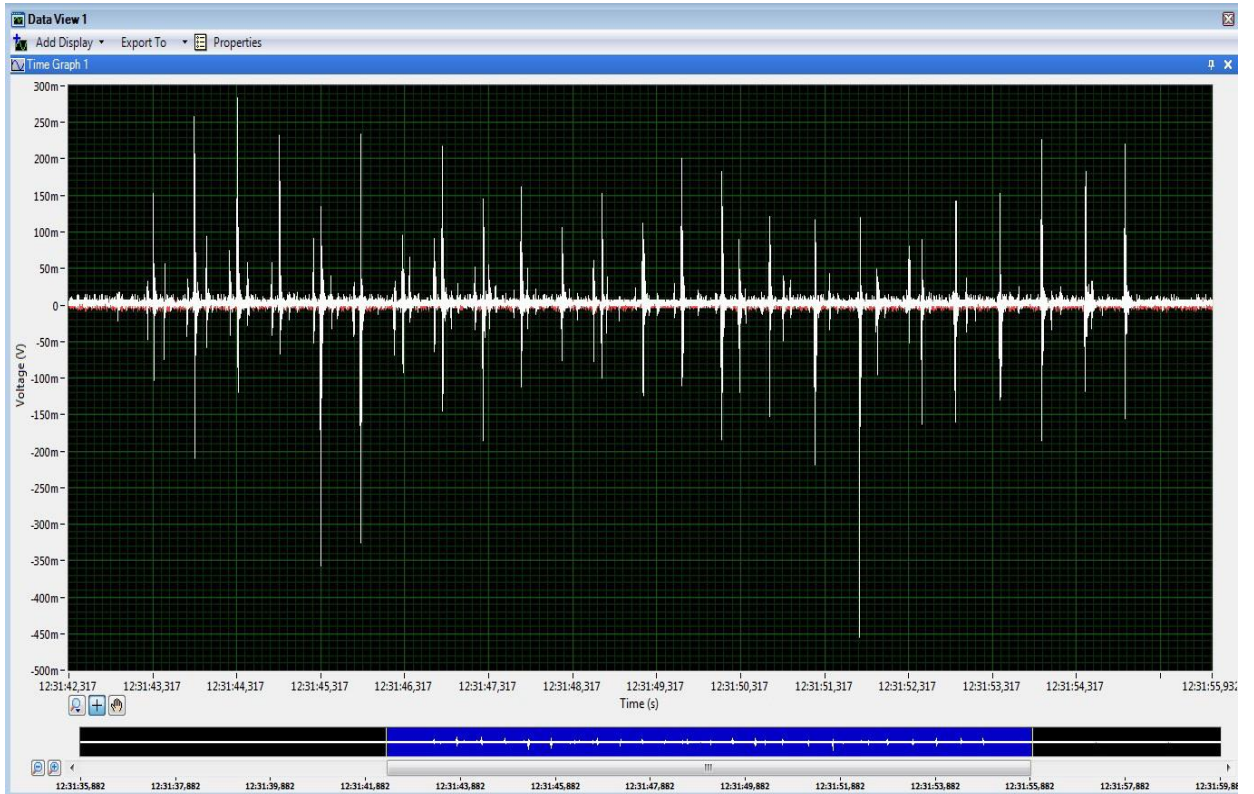


Рисунок 4.3 – Общий вид графика зависимости зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №3, величина осевого зазора 0,24 мм. Эксперимент №1

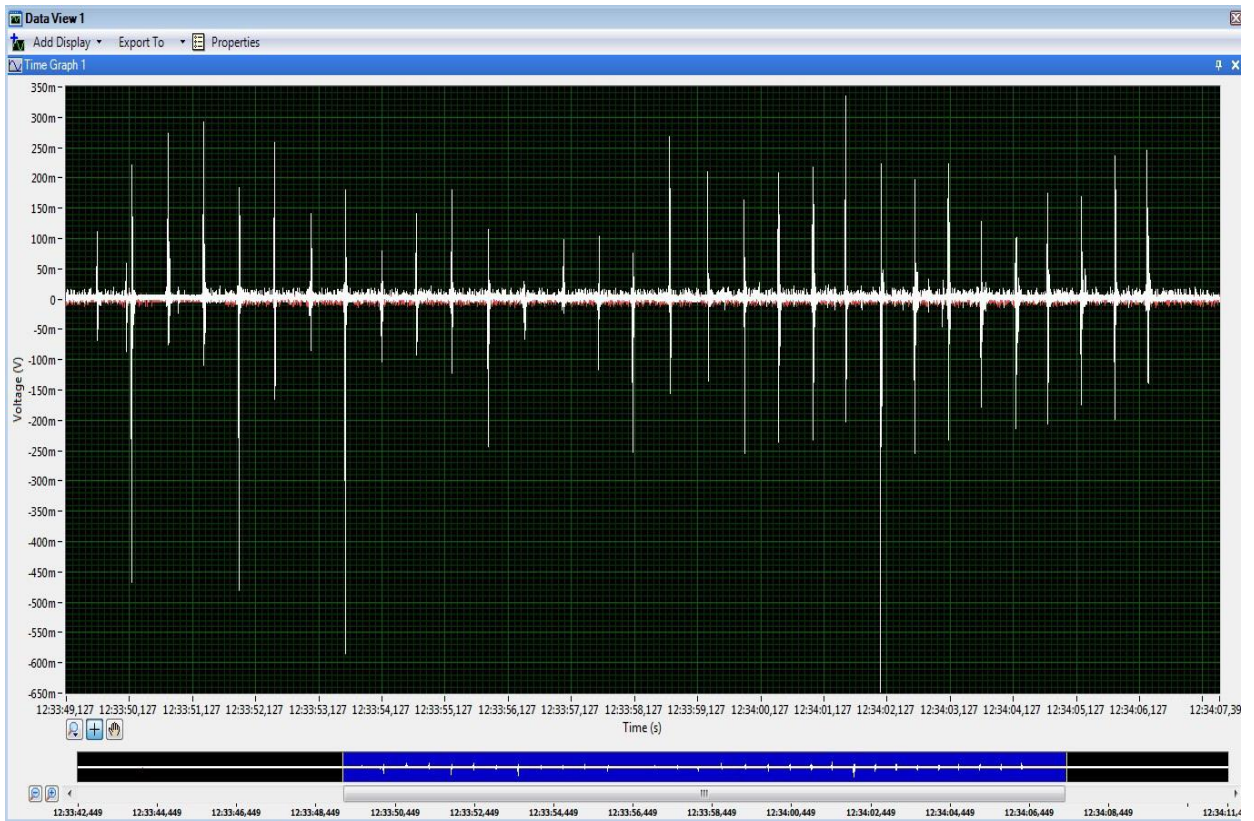


Рисунок 4.4 – Общий вид зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №3, величина осевого зазора 0,24 мм. Эксперимент №2

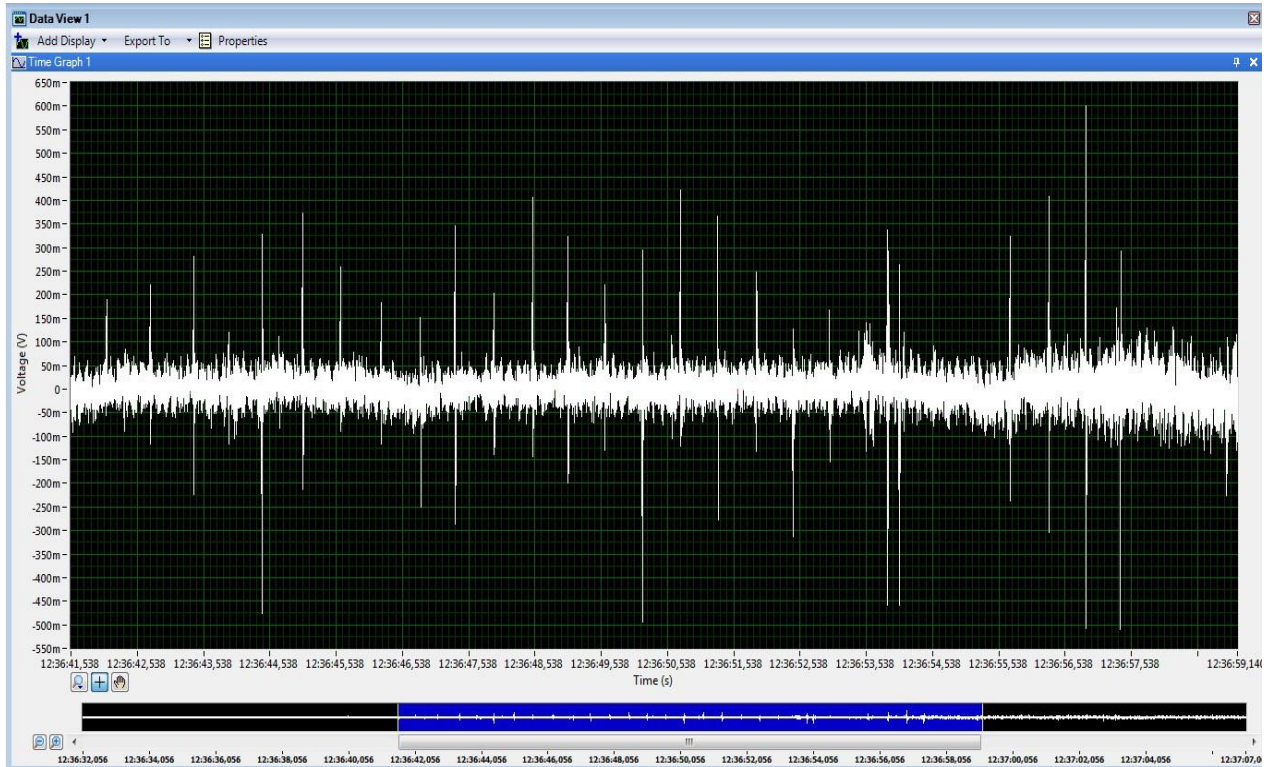


Рисунок 4.5 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №4, величина осевого зазора 0,39 мм. Эксперимент №1

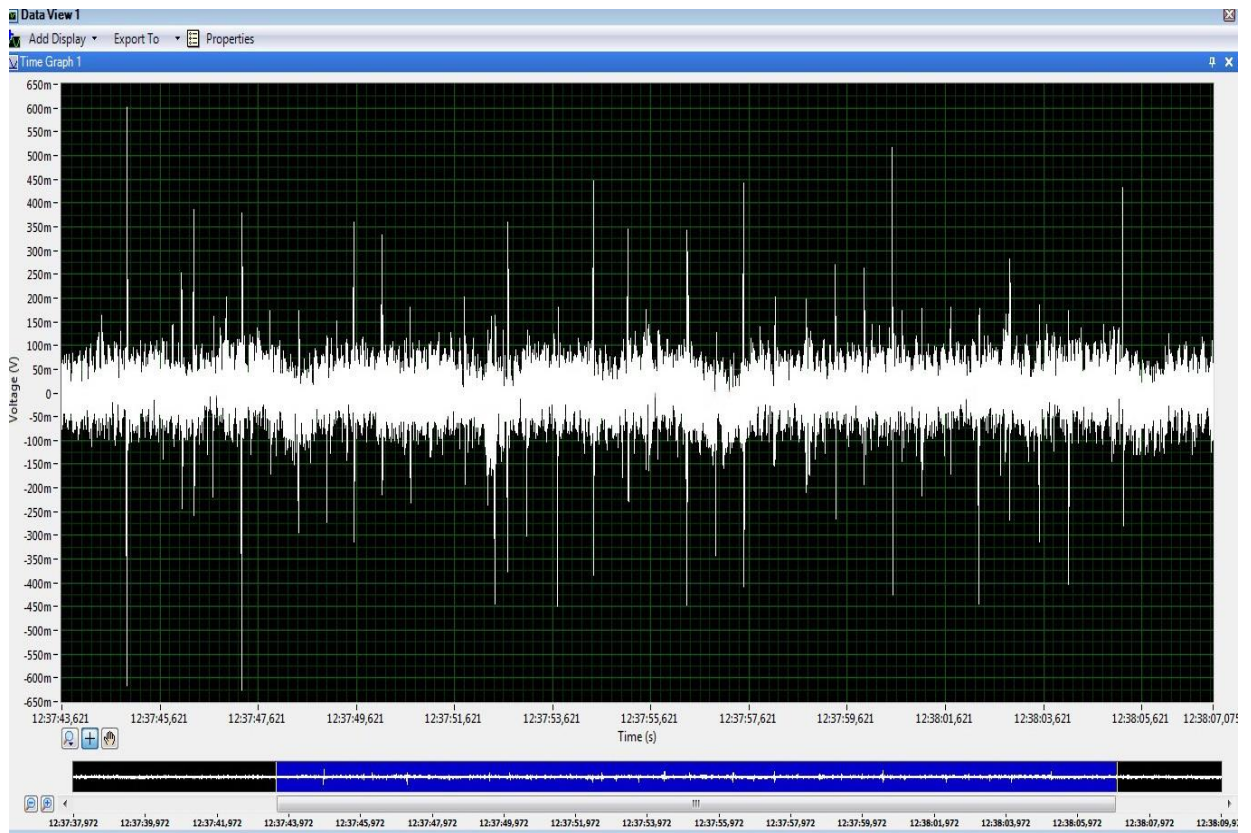


Рисунок 4.6 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №4, величина осевого зазора 0,39 мм. Эксперимент №2

Анализ графиков показал пропорциональное возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне 250 - 400 mV, в нижнем диапазоне от -200 до -400 mV. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,39 мм.

На рисунках 4.7 и 4.8 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №5 с осевым зазором 0,54 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке примерно 35000 км.

Анализ графиков показал пропорциональное возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне 350 - 500 mV, в нижнем диапазоне от -300 до -500 mV. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,54 мм.

На рисунках 4.9 и 4.10 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №6 с осевым зазором 0,68 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке примерно 50000 км. Анализ графиков показал пропорциональное возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне 400 - 600 mV, в нижнем диапазоне от -400 до -600 mV. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,68 мм.

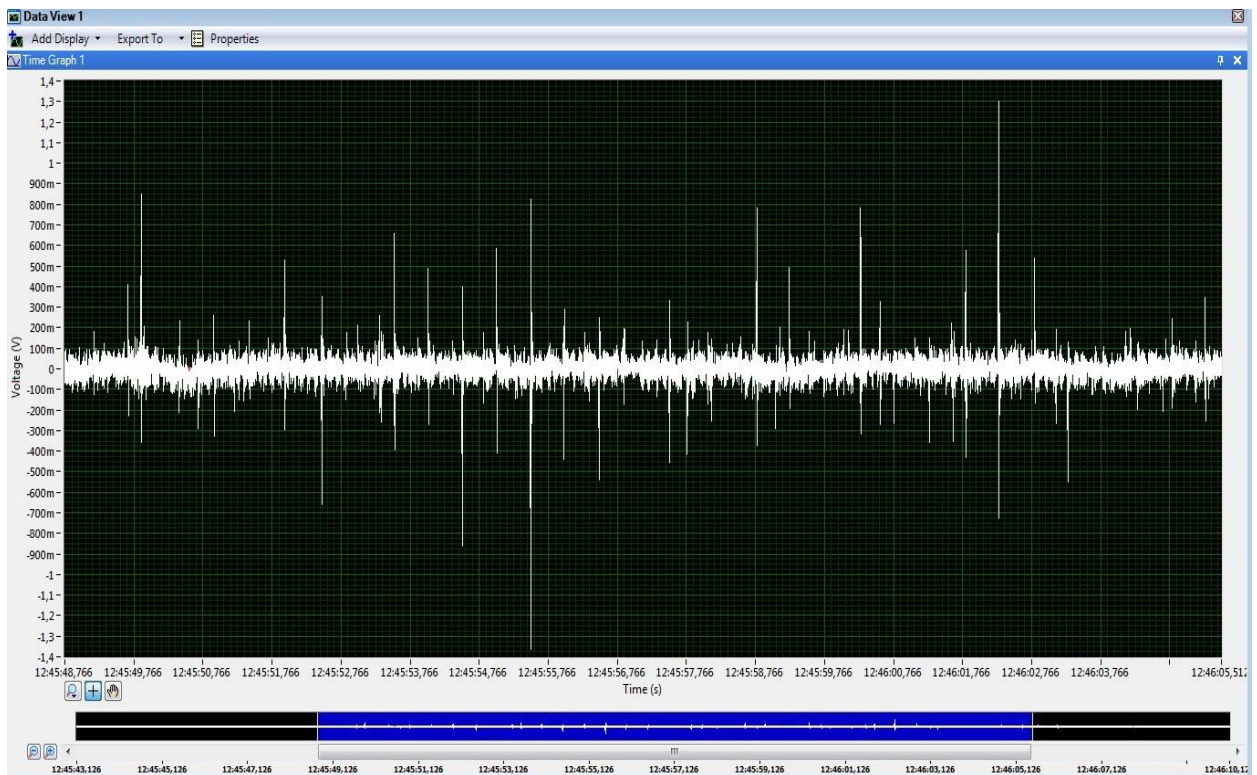


Рисунок 4.7 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №5, величина осевого зазора 0,54 мм. Эксперимент №1

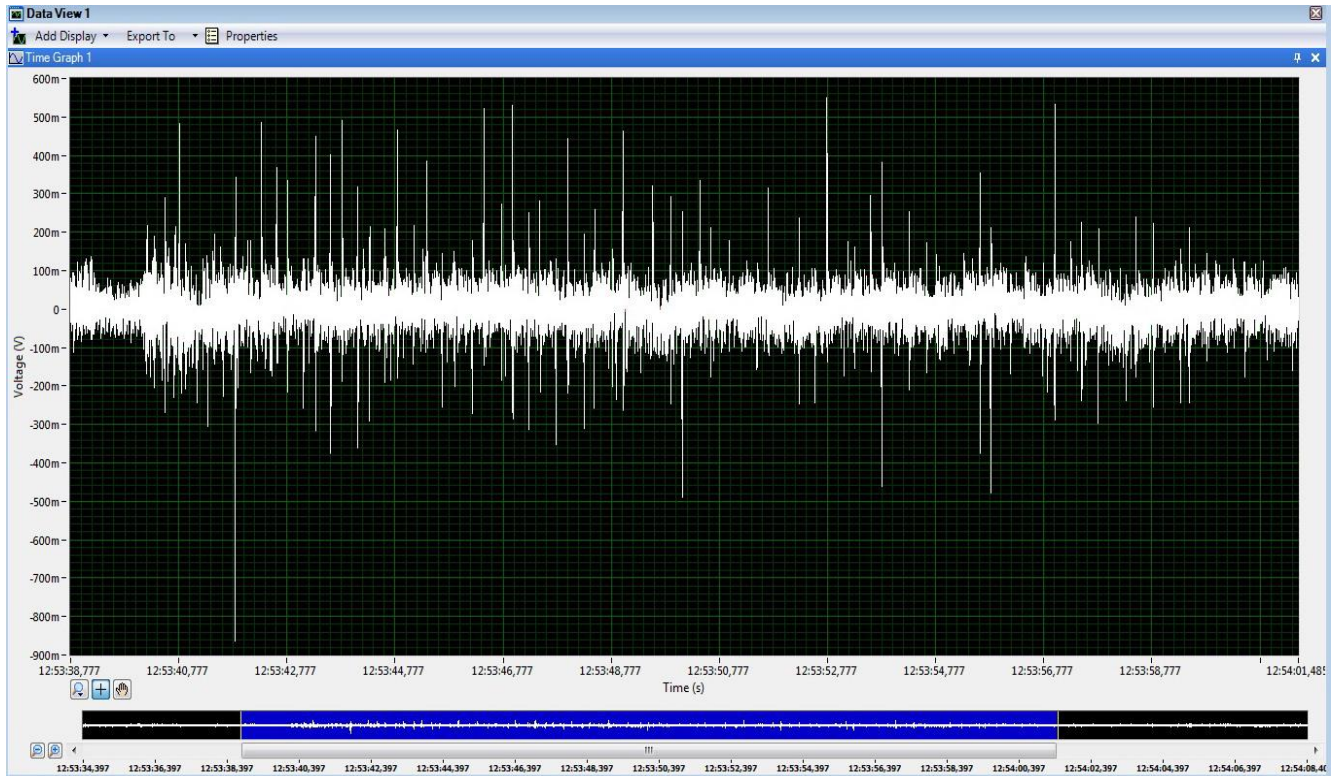


Рисунок 4.8 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №5, величина осевого зазора 0,54 мм. Эксперимент №2

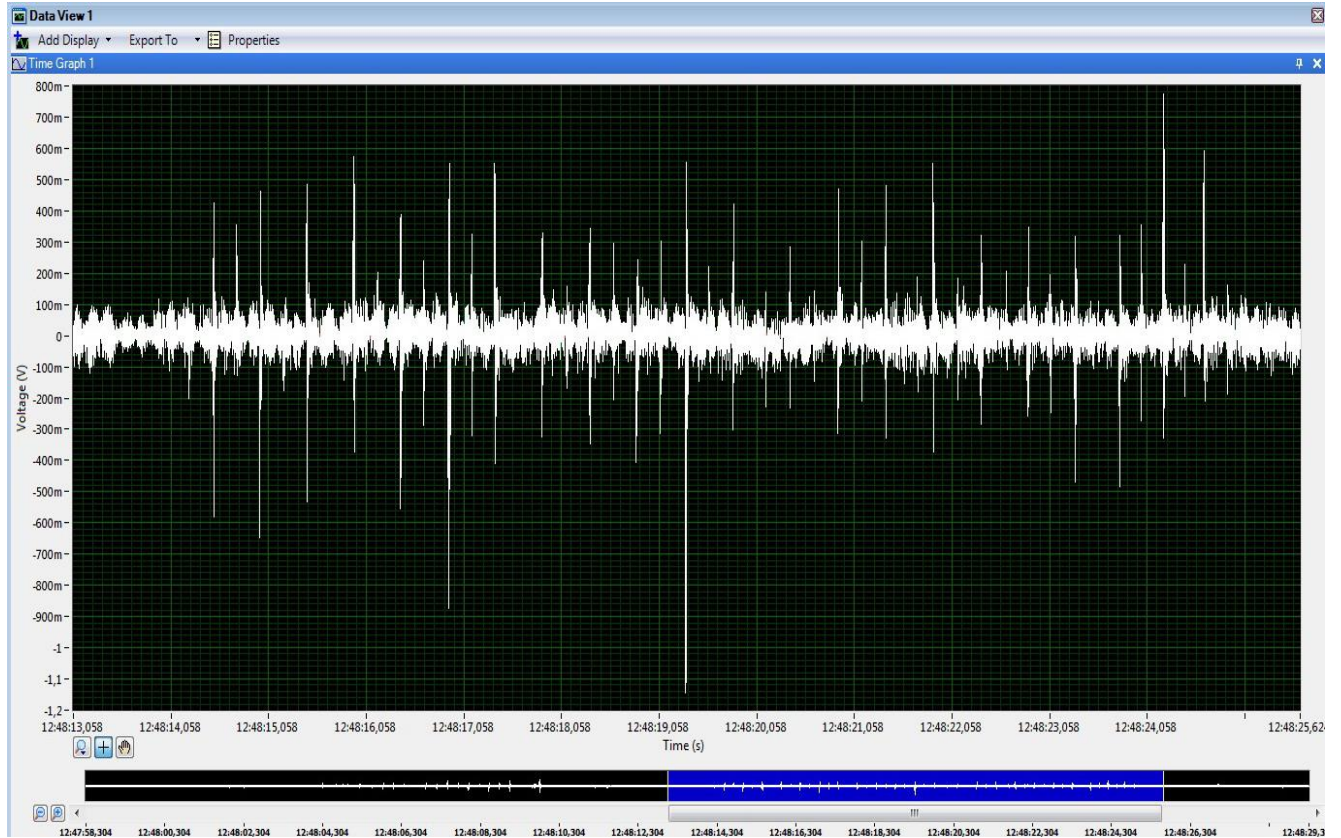


Рисунок 4.9 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №6, величина осевого зазора 0,68 мм. Эксперимент №1

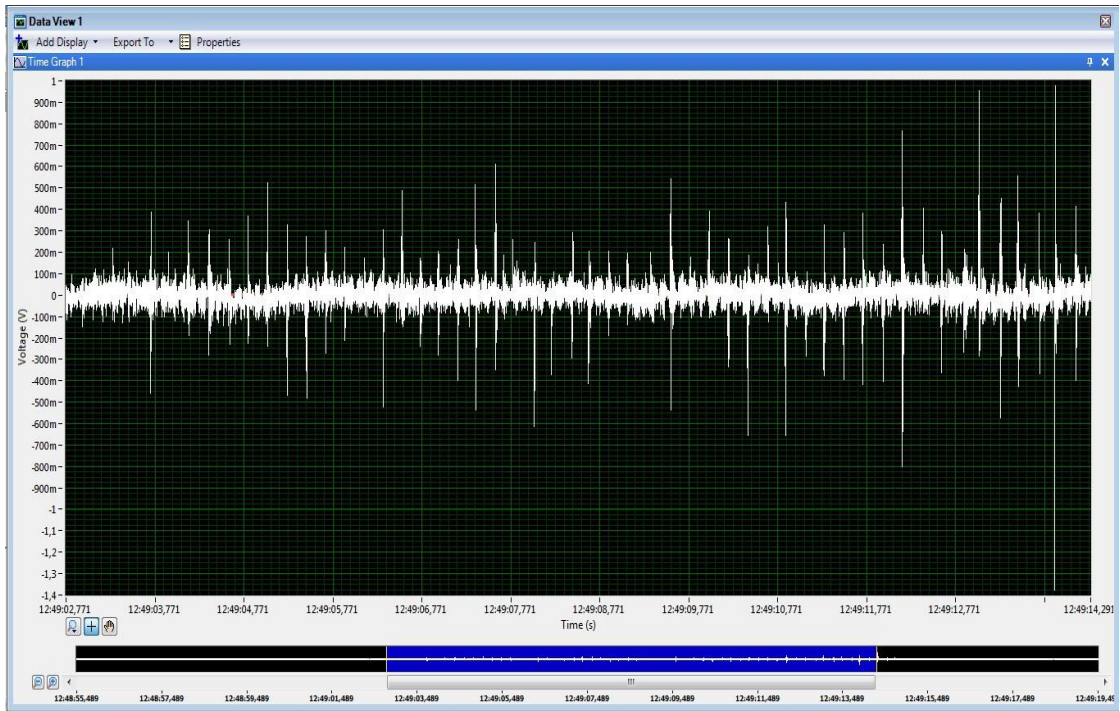


Рисунок 4.10 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №6, величина осевого зазора 0,68 мм. Эксперимент №2

На рисунках 4.11 и 4.12 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для испытательного образца №7 с осевым зазором 0,81 мм. Образец был изъят из эксплуатации при наработке примерно 60000 км.

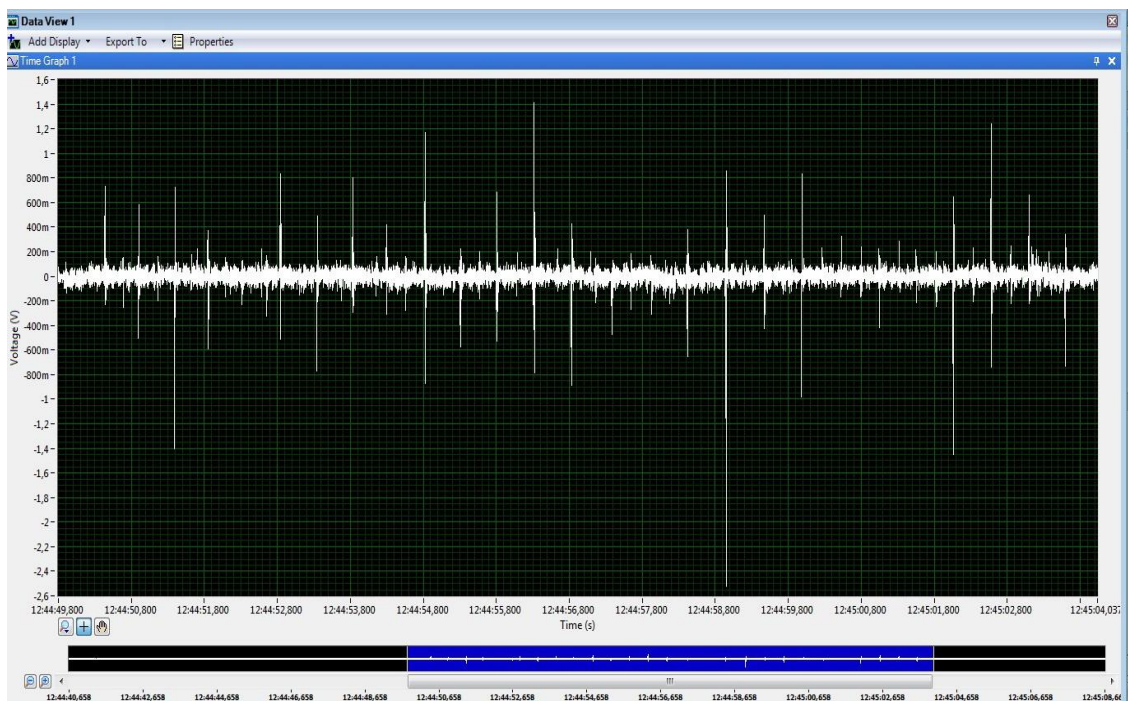


Рисунок 4.11 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №7, величина осевого зазора 0,81 мм. Эксперимент №1

Анализ графиков зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента показывает пропорциональное возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне 600 - 800 мВ, в нижнем диапазоне от -550 до -800 мВ. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,81 мм.

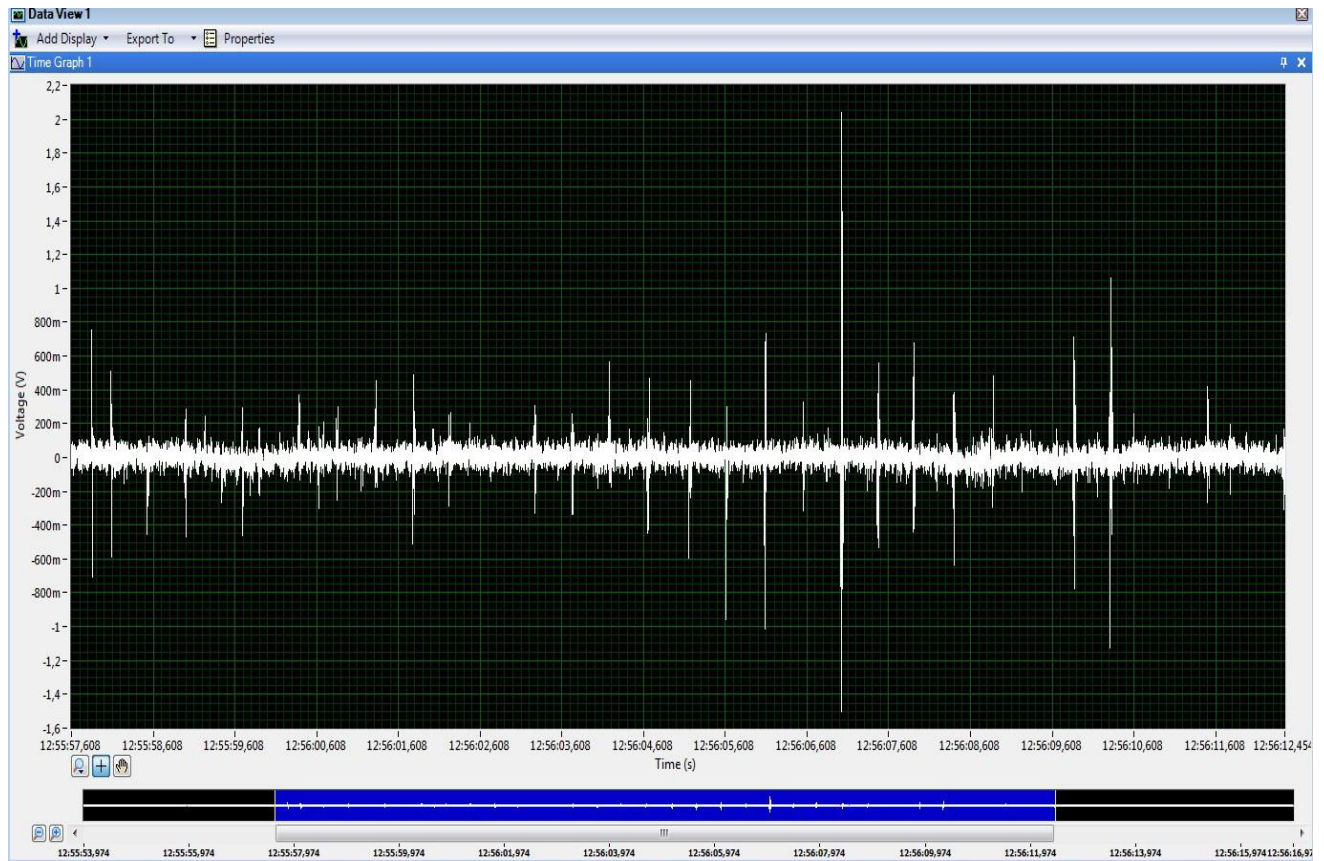


Рисунок 4.12 – Общий вид графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента, шарнир №7, величина осевого зазора 0,81 мм. Эксперимент №2

Анализ результатов экспериментов всех шарниров позволит определить, в какой степени разработанный способ применим для диагностирования осевого зазора в шаровых шарнирах легковых автомобилей.

Анализ представлен в виде графиков зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора (п. 3. 2. 4, приложение В) в шарнирах (рисунки 4.13 - 4.16). По оси абсцисс представлено виброускорение (единица измерения м/с^2) вычисленное исходя из номинального значения коэффициента преобразования k вибродатчика ДН-3 на частоте 150 Гц, равного $10 (\text{мВ} \cdot \text{с}^2)/\text{м}$ [128] по формуле:

$$a = \frac{U}{k}, \quad (4.18)$$

где U - значение величины сигнала напряжения, полученного в программной среде LabVIEW SignalExpress (рисунки 4.1 - 4.12), mV.

Проведенный анализ полученных зависимостей максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора (приложения В, рисунки 4.13 - 4.14) в шарнирах показал, что полученные данные могут служить основой для разработанной методики определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах. Определены зависимости между величинами максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора (приложения В, рисунки 4.13 - 4.14) в шарнирах для фазы 1.

Полученные экспериментальные данные описывают основные процессы, происходящие в шарнирах при проведении исследований. На основе этих данных установлены следующие положения:

- виброускорение, вызванное наличием зазора в шарнире, при проведении исследований фиксируется первым датчиком, установленным непосредственно в контакте с шарниром во время первой фазы движения, когда шарнир проходит верхнюю мертвую точку и начинает двигаться вниз;

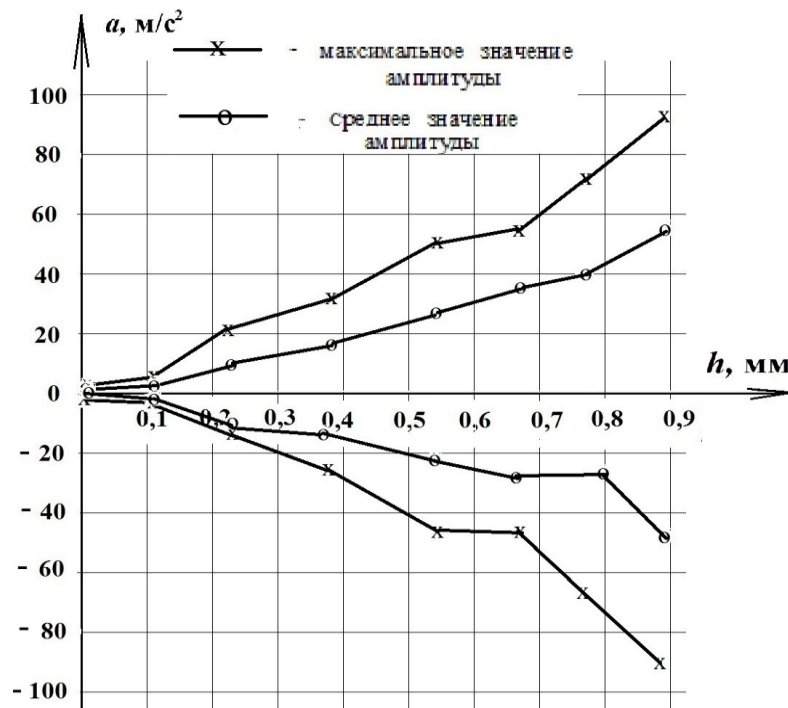


Рисунок 4.13- Графики зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора, в шарнирах фаза 1

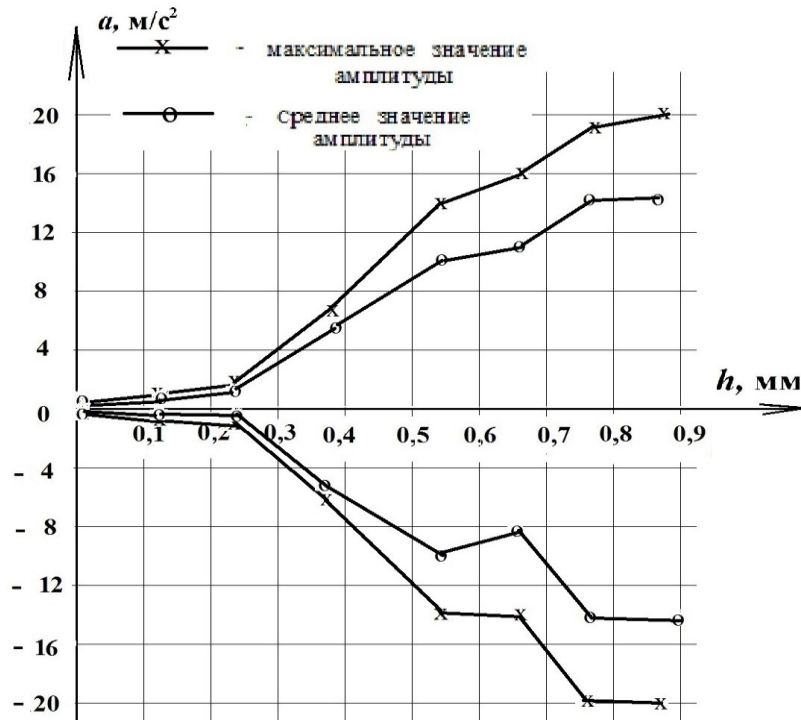


Рисунок 4.14 - Графики зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора, в шарнирах фаза 2

- виброускорение, вызванное наличием зазора в шарнире, при проведении исследований фиксируется первым датчиком, во время второй фазы движения, когда шарнир проходит нижнюю мертвую точку и начинает двигаться вверх. При этом величина виброускорения на порядок ниже, чем для первой фазы. Это связано с тем, что при движении от верхней точки вниз дополнительно к усилию гидроцилиндра появляется усилие пружины, эти силы имеют одинаковое направление, а при движении от нижней точки они имеют противоположенное направление, что снижает виброускорение в исследуемом сопряжении шарниров. Полученные данные могут служить основой для создания методики определения зазора, поскольку явная зависимость проявляется при величине зазора в диапазоне от 0,01 мм, до 0,9 мм, то есть для всех шарниров, представленных в экспериментальном исследовании;

- вибродатчик №2, установленный на рычаге подвески (рисунок 3.18) не фиксирует виброускорение вызванное наличием зазора в шарнире, при проведении исследований, для обеих фаз. Это связано с тем, что виброускорение, возникающее в шарнире, имеет небольшие значения, т. к. частично гасится полимерным вкладышем и, распространяясь далее, от корпуса шарнира быстро затухает.

- изменение давления в гидросистеме никак не сказывается на полученных зависимостях, происходит только пропорциональное изменение величин основных

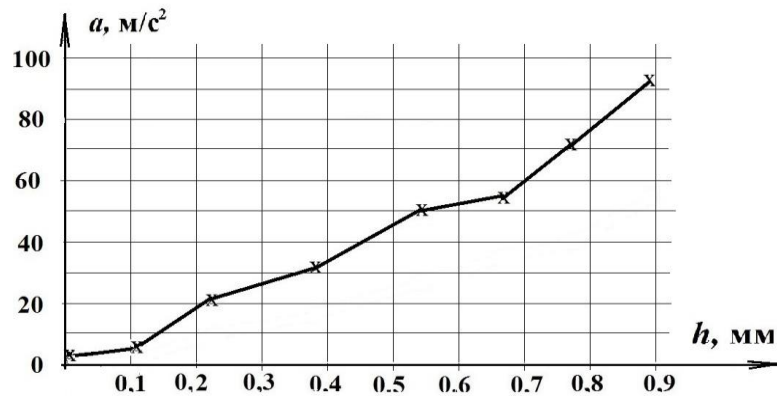
характеристик. Поэтому в исследованиях представлены эксперименты, проведенные при максимальном давлении в гидросистеме 1,8 МПа.

Анализ графиков показал, что наиболее явную зависимость величины виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах имеют графики максимального и среднего верхних значений амплитуды для фазы 1 (рисунки 4.13 - 4.14). Для дальнейших исследований используем график максимального верхнего значения амплитуды, как более близкого к квадратичной зависимости.

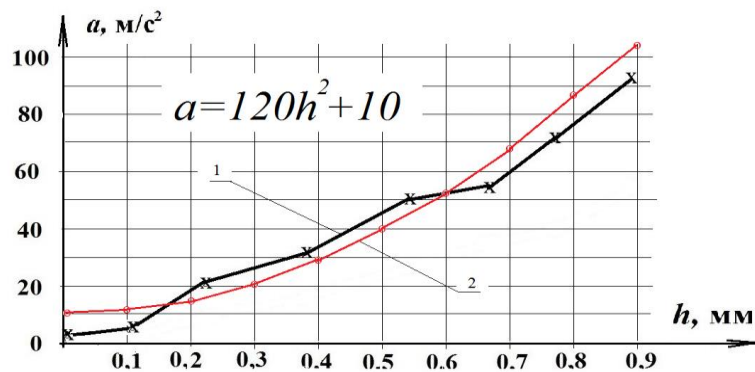
Далее приводим график максимального верхнего значения амплитуды (рисунок 4.15 а) к виду, который можно описать квадратичным уравнением, на основе которого строим график, показанный на рисунок 4.15 б. Полученное уравнение имеет вид:

$$h = \sqrt{\frac{a-10}{120}}, \quad (4.1)$$

$$a = 120h^2 + 10. \quad (4.2)$$



а)



б)

Рисунок 4.15 - График зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах:

а) график, полученный экспериментальным путем; б) приведение графика к квадратичному виду: 1 - график, полученный экспериментальным путем, 2 - приведенный график

4.1.2 Оценка результатов экспериментального исследования

Механический способ диагностирования (п. 1. 7. 1), (не предусматривающий численное определение величины осевого зазора без использования специальных приспособлений), произведен в условиях лабораторных стендовых исследований. Данный способ диагностирования позволяет определить наличие осевого зазора в шарнире при его величине превышающей 0,4 мм, что отражено в таблице 4.3. При величине осевого зазора менее 0,4 мм зазор в шаровом шарнире не определяется, из чего делается заключение, что шарнир является работоспособным. При величине зазора в шарнире более 0,4 мм механический способ позволяет определить наличие зазора в шарнире, при этом исполняющий работник признает шарнир выработавшим свой ресурс и выносит решение о замене шарнира. Погрешность данного способа в пределах величины зазора 0,1-0,9 мм представлена в таблице 4.3, ее максимум составляет 32,2 %.

По разработанному способу диагностирования погрешность при измерении величины осевого зазора не должна превышать 10%. Анализ полученных экспериментальных данных, при лабораторном стендовом исследовании представленный в таблице 4.4 показывал, что погрешность измерения величины осевого зазора вибрационным способом в сравнении с измерением зазора контрольным устройством в пределах величины зазора 0,1 - 0,84 мм не превышает 10%.

Значения виброускорения серии из 9 экспериментов, их среднее арифметическое исправленное значение приведено в таблице 19 приложения В. На рисунке 4.16 представлены графики верхнего, нижнего и среднего арифметического исправленного значений величины виброускорения.

Коэффициент Стьюдента, зависит доверительной вероятности и от числа наблюдений. При $n = 9$; $P = 0,95$; $t_q = 2,306$ [124]. Статистическая обработка групп результатов 8 экспериментов представлена в таблице 20 приложения 3.

В наших исследованиях достаточно иметь значение t , равное или более 1,96. Тогда выявленные различия достоверны, не случайны, статистически подтверждены с вероятностью безошибочного прогноза равной или более 95%.

Таблица 4.3 - Оценка погрешности результатов исследования в лабораторных условиях при измерении зазора механическим способом

Шарнир	Величина осевого зазора, мм (измеренная контрольным устройством)	Величина осевого зазора, при измерении зазора механическим способом, мм	Погрешность, мм	Погрешность, %
№1	0,01	0,01	0	0
№2	0,18	0,01	0,17	18,3
№3,4	0,21	0,01	0,20	22,2
№5	0,23	0,01	0,22	24,4
№6	0,24	0,01	0,23	25,6
№7	0,28	0,01	0,27	30
№8	0,29	0,1	0,19	21,1
№9	0,30	0,1	0,20	22,2
№10	0,31	0,1	0,21	23,3
№11	0,33	0,1	0,23	25,6
№12	0,36	0,1	0,26	28,9
№13	0,39	0,1	0,29	32,2
№14	0,46	0,7	0,24	23,7
№15	0,54	0,7	0,16	17,2
№16	0,59	0,7	0,11	12,2
№17	0,64	0,7	0,06	7,1
№18,19	0,68	0,7	0,02	2,2
№20	0,72	0,7	0,02	2,2
№21	0,74	0,7	0,04	4,4
№22	0,81	0,7	0,09	10,2
№23	0,84	0,7	0,14	15,6
№24	0,86	0,7	0,16	17,2
№25	0,88	0,7	0,18	20
№26	0,89	0,7	0,19	21,1
№27	0,91	0,7	0,21	23,3
№28	0,92	0,7	0,22	24,2
№29	0,94	0,7	0,24	27,5
№30	0,96	0,7	0,26	28,9

Таблица 4.4 - Оценка погрешности результатов исследования в лабораторных условиях при измерении зазора вибрационным способом

Испытательный образец	Величина осевого зазора, мм (измеренная контрольным устройством)	Величина виброускорения, m/c^2 для приведенного графика	Величина виброускорения, m/c^2 для графика полученного экспериментальным путем	Величина осевого зазора, мм (полученная экспериментальным путем)	Погрешность, мм	Погрешность, %
№1	0,12	11	5,5	0,16	0,04	4,4
№2	0,18	14	17	0,17	0,01	1,1
№3,4	0,21	16	20	0,18	0,03	3,3
№5	0,23	17	23	0,31	0,08	8,8
№6	0,24	17	23	0,32	0,08	8,8
№7	0,28	19	25	0,34	0,06	6,6
№8	0,29	20	26	0,21	0,08	8,8
№9	0,30	20	27	0,21	0,09	9,9
№10	0,31	22	27	0,23	0,08	8,8
№11	0,33	24	28	0,24	0,09	9,9
№12	0,36	26	31	0,30	0,06	6,6
№13	0,39	29	33	0,33	0,06	6,6
№14	0,46	35	41	0,42	0,04	4,4
№15	0,54	45	50	0,49	0,05	5,5
№16	0,59	51	53	0,57	0,02	2,2
№17	0,64	58	54	0,69	0,05	5,5
№18, 19	0,68	66	57	0,73	0,05	5,5
№20	0,72	71	62	0,77	0,05	5,5
№21	0,74	74	66	0,79	0,05	5,5
№22	0,81	88	77	0,87	0,06	6,6
№23	0,84	96	85	0,91	0,07	7,7
№24	0,86	98	88	-	-	-
№25	0,88	102	91	-	-	-
№26	0,89	103	92	-	-	-

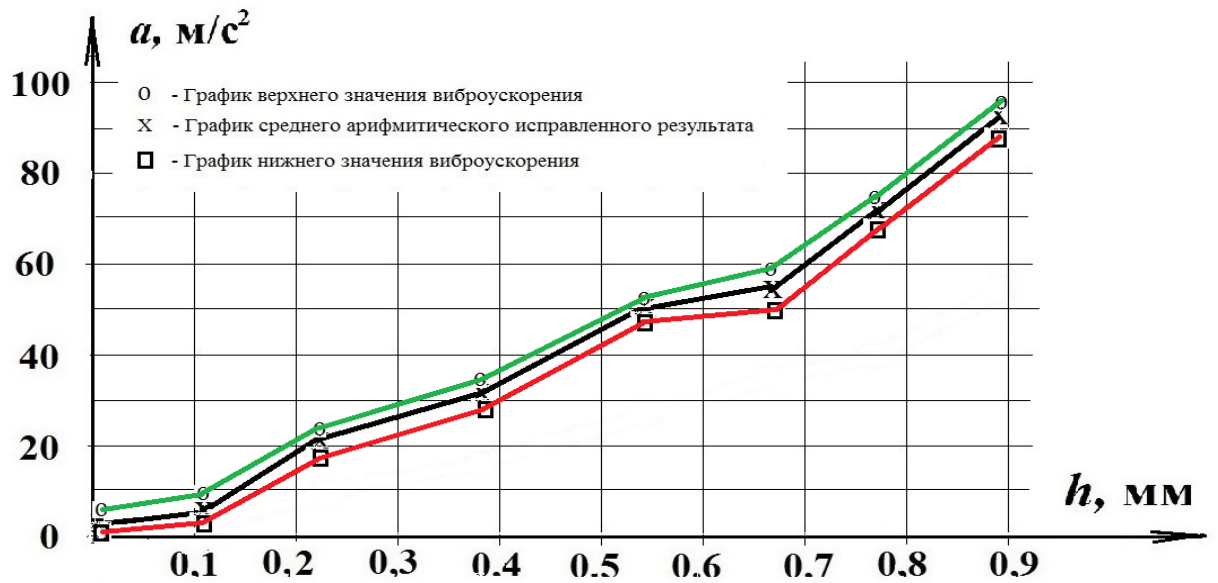


Рисунок 4.16 - Графики верхнего, нижнего и среднего арифметического исправленного значений величины виброускорения

4.1.3 Сопоставление результатов теоретического и экспериментального исследований

Сопоставляя полученный экспериментальным путем график зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах (рисунок 4.15 а) с графиком полученным моделированием в программной среде Mathcad (рисунок 2.14), получаем совместный график (рисунок 4.17)

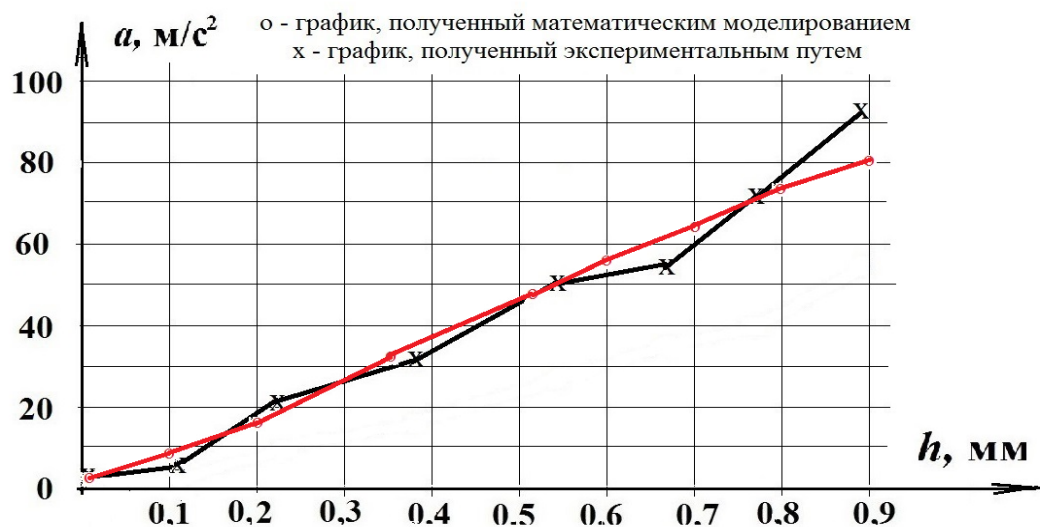


Рисунок 4.17 – Сопоставление графиков зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах при математическом моделировании и при экспериментальном исследовании

Анализ графиков представленных на рисунке 4.17 показал, что наибольшее расхождение между ними не превышает 10 %, что подтверждает адекватность разработанной математической модели изменения технического состояния шарового шарнира в условиях стендового исследования и позволяет с высокой степенью достоверности использовать математическую модель для определения величины осевого зазора в шаровом шарнире.

4.2 Результаты экспериментального исследования полученные в условиях автосервисного предприятия

В диссертационной работе рассмотрены эксперименты на примере шести экспериментальных образцов (таблица 4.5), в каждом следующем из которых величина осевого зазора увеличивается с шагом 0,13-0,2 мм, поскольку они наиболее полно отображают исследуемый интервал осевого зазора шаровых шарниров от нового, без эксплуатации с величиной 0,01 мм (образец №1), до выработавшего свой ресурс с величиной более 0,7 мм (образец №6). Остальные эксперименты представлены в приложении Г.

Таблица 4.5 - Исследуемые характеристики шарниров для задач анализа

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

В качестве эталона использовалась шаровый шарнир №1, новый, без эксплуатации на автомобиле. Осевой зазор h которого был замерен на стенде с помощью индикатора часового типа составил 0,01 мм. Остальные шаровые шарниры были демонтированы из подвески автомобиля при различных величинах наработки. Зазор каждого из них также был измерен на стенде для диагностирования и испытания элементов подвески автомобиля. Каждый из шарниров был пронумерован.

4.2.1 Результаты экспериментального исследования

Результаты экспериментов, обработанные с помощью программного обеспечения LabVIEW SignalExpress представлены на рисунках 4.17 - 4.22.

Рассмотрены шесть шарниров с различной степенью износа и величинами осевого зазора 0,01; 0,28; 0,46; 0,59; 0,74 и 0,84 мм.

На рисунке 4.17 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №1 с осевым зазором 0,01 мм. Шарнир без эксплуатации на автомобиле, принят за эталон.

Анализ графиков зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента показывает минимальные значения виброускорения характерные для белого, импульсного и других случайных шумов возникающих в вибродатчиках, соединительных кабелях и аналого-цифровом преобразователе. Величина напряжения получаемого от вибродатчика при этом составляет в верхнем диапазоне 10 - 12 мВ, в нижнем диапазоне от -10 до -12 мВ. Отсутствие виброускорения в шарнире объясняется отсутствием перемещения корпуса шарнира относительно шарового пальца и минимальным зазором установленным конструктивно для возможности вращения пальца относительно корпуса шарнира.



Рисунок 4.17 - Общий вид совместного графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №1 с величиной осевого зазора 0,01мм

На рисунке 4.18 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №2 с осевым зазором 0,28 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации, при наработке около 14000 км.

Анализ графиков зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента показывает возрастание значений виброускорения по-сравнению с эталонным шарниром. Величина напряжения получаемого от вибродатчика при этом составляет в верхнем диапазоне 20-30 мV, в нижнем диапазоне от -20 до -30 мV. Появление виброускорения в шарнире №2 объясняется перемещения корпуса шарнира относительно шарового пальца на величину осевого зазора (0,28 мм). Виброускорение появляется в сопряжении «головка шарового пальца-полимерный вкладыш» при прохождении шарниром области рабочих верхней и нижней мертвых точек (рисунок 3.19).

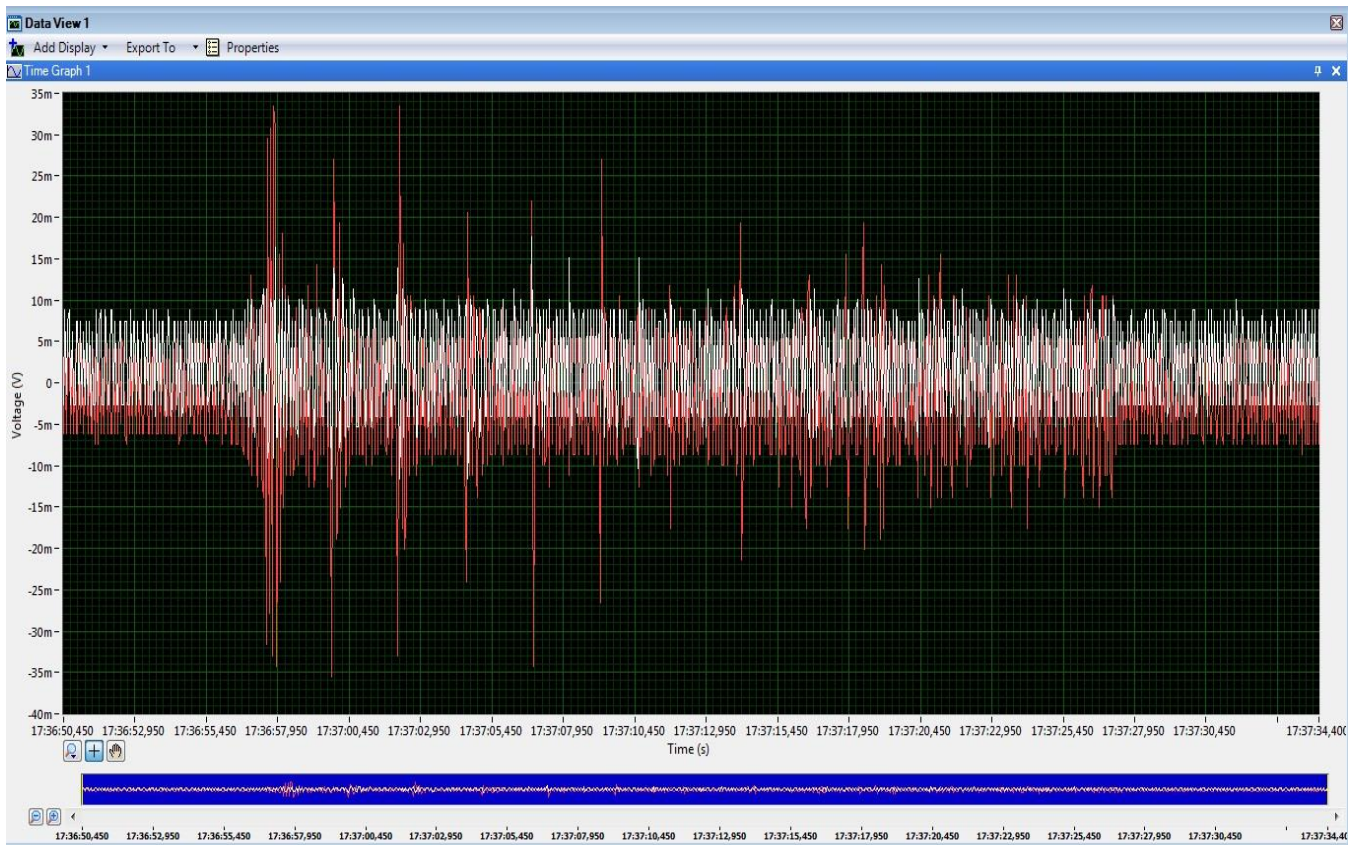


Рисунок 4.18 - Общий вид совместного графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №2 с величиной осевого зазора 0,28 мм

На рисунке 4.19 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №3 с осевым зазором 0,46 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке примерно 25000 км.

Анализ графиков зависимости зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента показывает дальнейшее возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне от 30 до 40 mV, в нижнем диапазоне от -30 до -40 mV. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,46 мм.

На рисунке 4.20 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №4 с осевым зазором 0,59 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке примерно 35000 км.

Анализ графиков зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента показывает дальнейшее пропорциональное возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне от 40 до 50 mV, в нижнем диапазоне от -30 до -50 mV. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,59 мм.

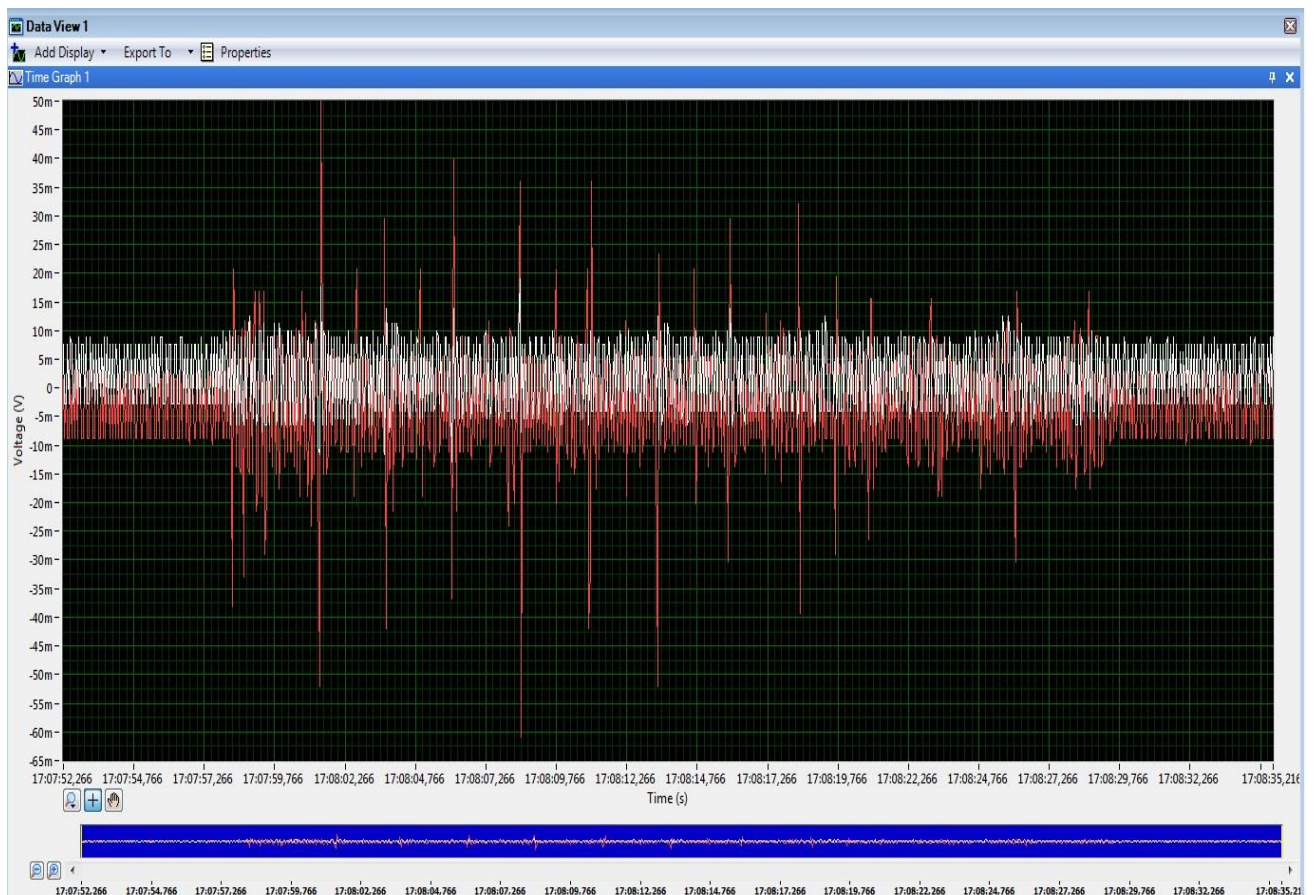


Рисунок 4.19 - Общий вид совместного графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №3 с величиной осевого зазора 0,46 мм

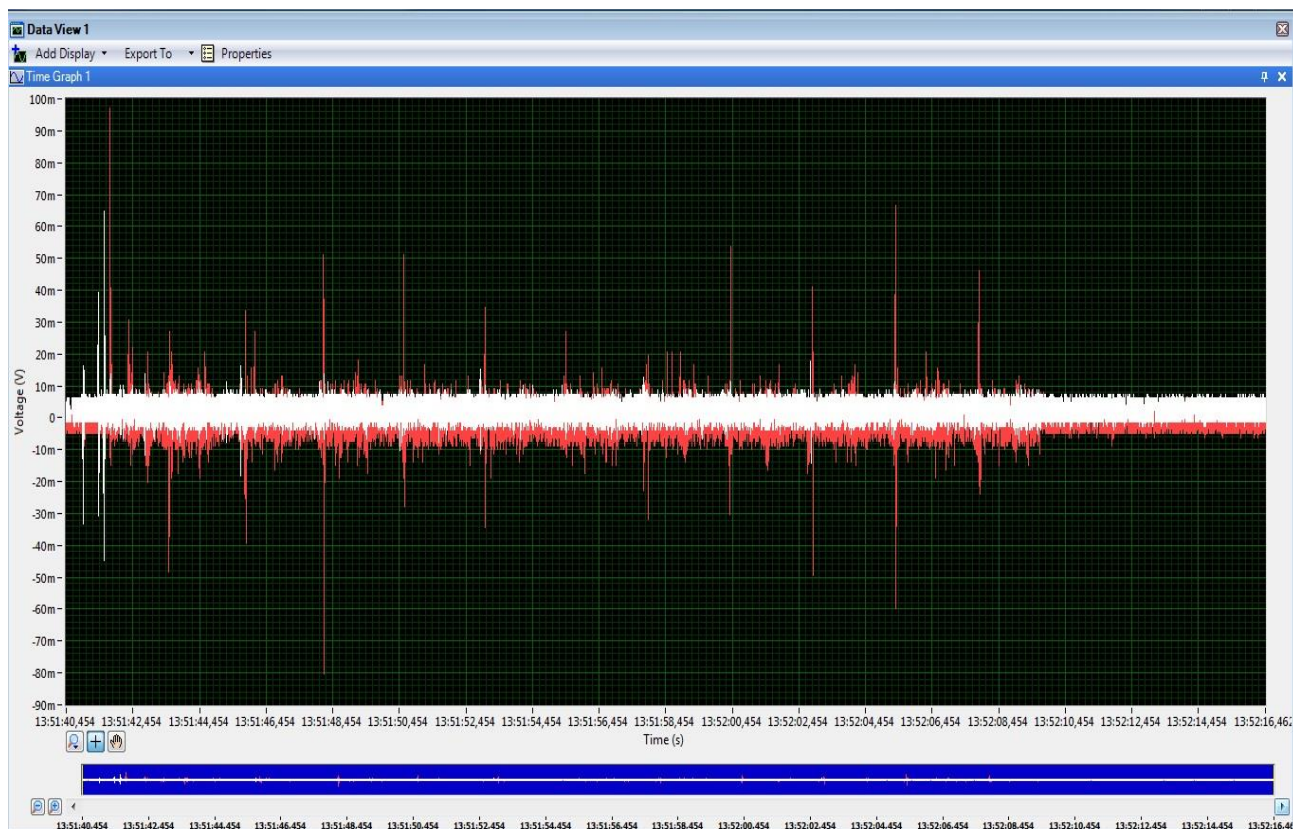


Рисунок 4.20 - Общий вид совместного графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №4 с величиной осевого зазора 0,59 мм

На рисунке 4.21 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №5 с осевым зазором 0,74 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке примерно 55000 км.

Анализ графиков зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента показывает дальнейшее пропорциональное возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне 120 - 140 mV, в нижнем диапазоне от -120 до -160 mV. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,74 мм.

На рисунке 4.22 представлены графики зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №6 с осевым зазором 0,84 мм. Шарнир был изъят из эксплуатации при наработке примерно 70000 км.

Анализ графиков зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента показывает дальнейшее пропорциональное возрастание значений виброускорения. Величина напряжения получаемого от вибродатчика составляет в верхнем диапазоне 200 - 250 mV, в нижнем диапазоне от -200 до -240 mV. Возрастание виброускорения обусловлено увеличением зазора в исследуемом сопряжении до величины 0,84 мм.

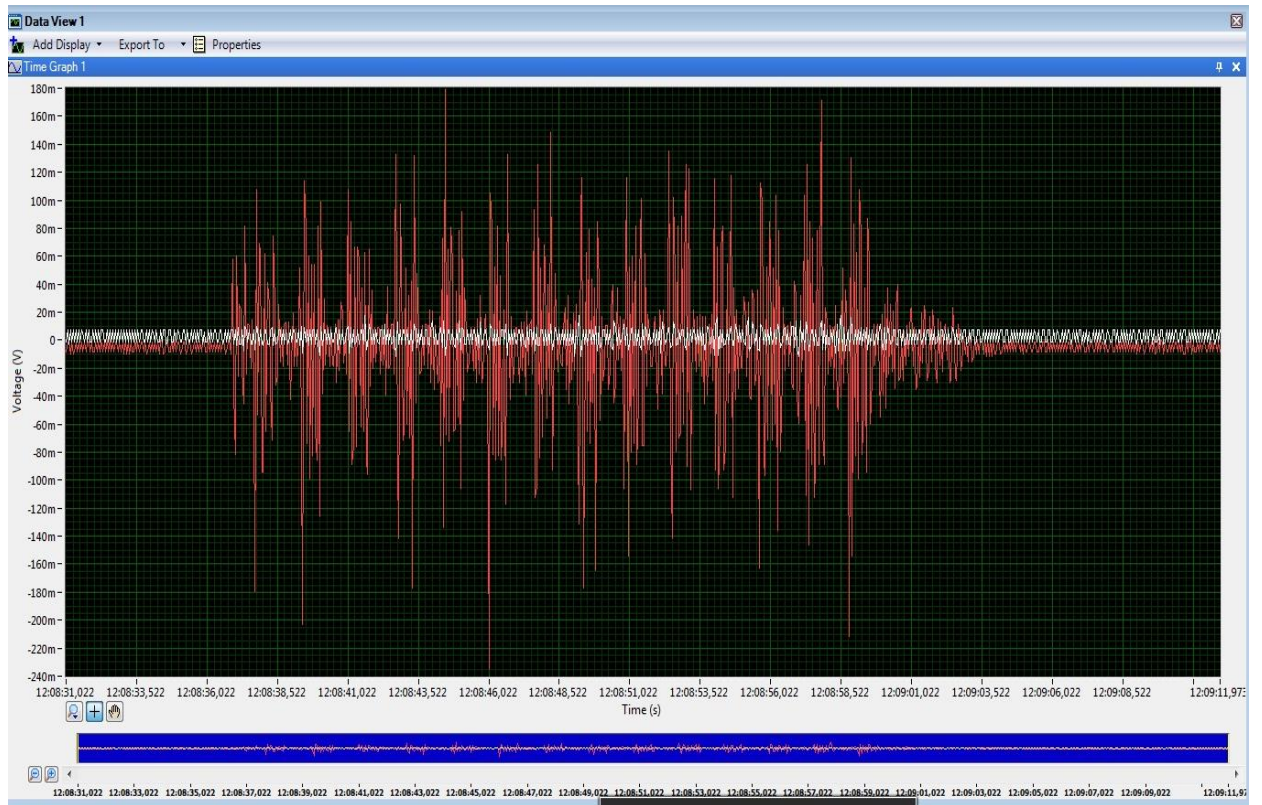


Рисунок 4.21 - Общий вид совместного графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №5 с величиной осевого зазора 0,74 мм

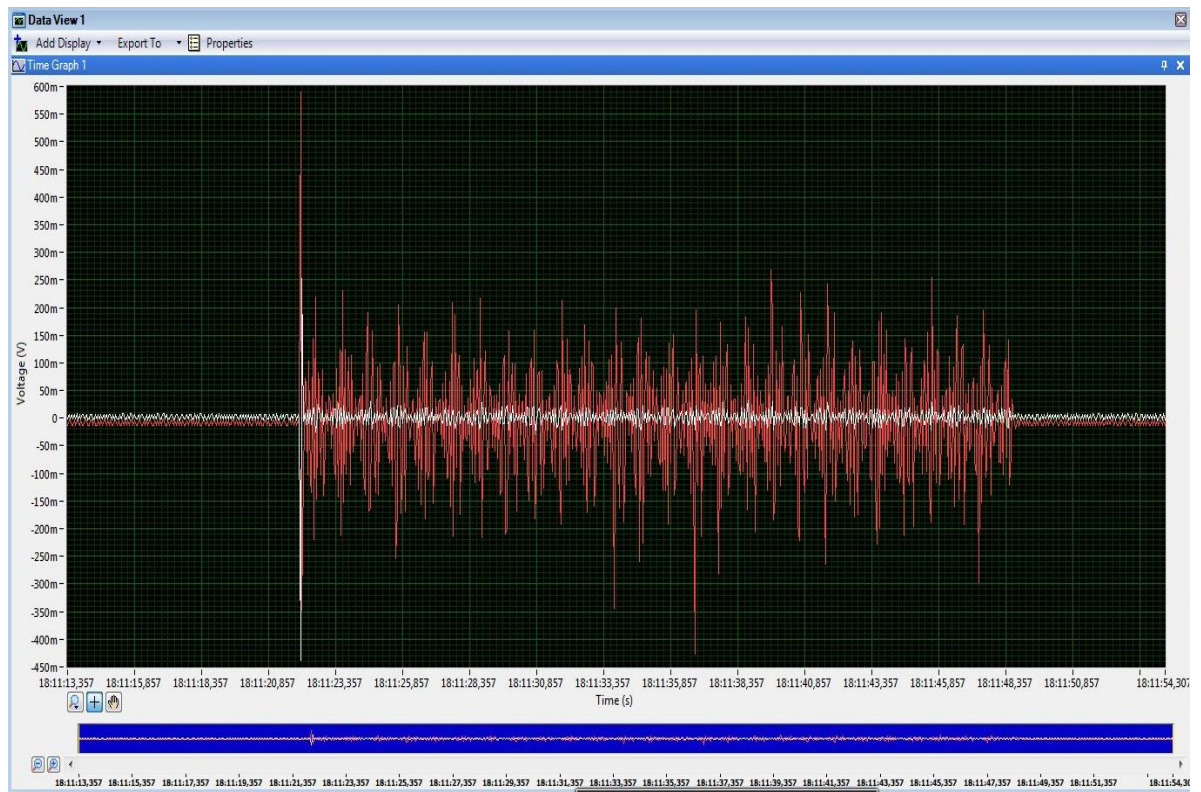


Рисунок 4.22 - Общий вид совместного графика зависимости виброускорения от времени проведения эксперимента для шарнира №6 с величиной осевого зазора 0,84 мм

Проведенный анализ полученных зависимостей максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора (приложения Г, рисунки 4.23 - 4.24) в шарнирах показал, что полученные данные могут служить основой для разработанного способа определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах. Определены зависимости между величинами амплитуд виброускорения и величиной осевого зазора в шарнирах для фаз 1 и 2.

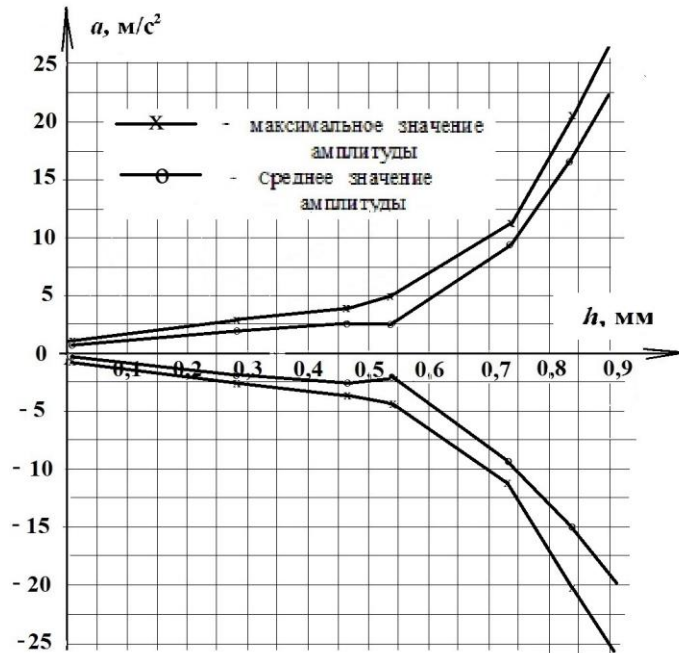


Рисунок 4.23 - Графики зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора, фазы 1,2

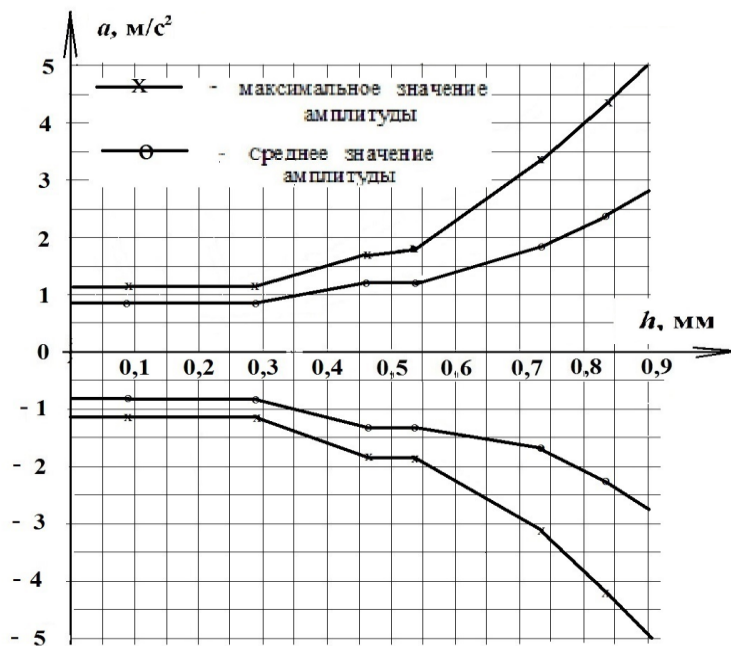


Рисунок 4.24 - Графики зависимости максимальной и средней амплитуд виброускорения от величины осевого зазора, при прохождении точки экватора (между фазой 1 и 2)

Виброускорение, вызванное наличием зазора в шарнире, при проведении исследований фиксируется первым датчиком, установленным непосредственно в контакте с шарниром во время первой и второй фазы движения, когда шарнир проходит верхнюю мертвую точку и начинает двигаться вниз (фаза 1) и когда проходит нижнюю мертвую точку и начинает двигаться вверх (фаза 2).

Так же фиксируется виброускорение в точке экватора (точка расположенная посередине между верхней и нижней мертвыми точками). При работе стенда опорные платформы для колес двигаются как в продольном так и в поперечном направлениях. Это создает помимо основных вертикальных нагрузок, продольные и поперечные нагрузки, которые оказывают влияние на виброускорение в фазах 1 и 2 и создают виброускорение в сопряжении шарнира в точке экватора как при движении вверх, так и при движении вниз.

Полученные экспериментальные данные могут служить основой для создания способа определения величины осевого зазора, поскольку явная зависимость проявляется при величине зазора в диапазоне от 0,01 мм, до 0,9 мм, то есть для всех шарниров, представленных в экспериментальном исследовании.

Вибродатчик №2, установленный на рычаге подвески (рисунок 3.18) не фиксирует виброускорение вызванное наличием зазора в шарнире, при проведении исследований, для обеих фаз. Это связано с тем, что виброускорение, возникающее в шарнире, имеет небольшие значения, т. к. частично гасится полимерным вкладышем и, распространяясь далее от корпуса шарнира быстро затухает.

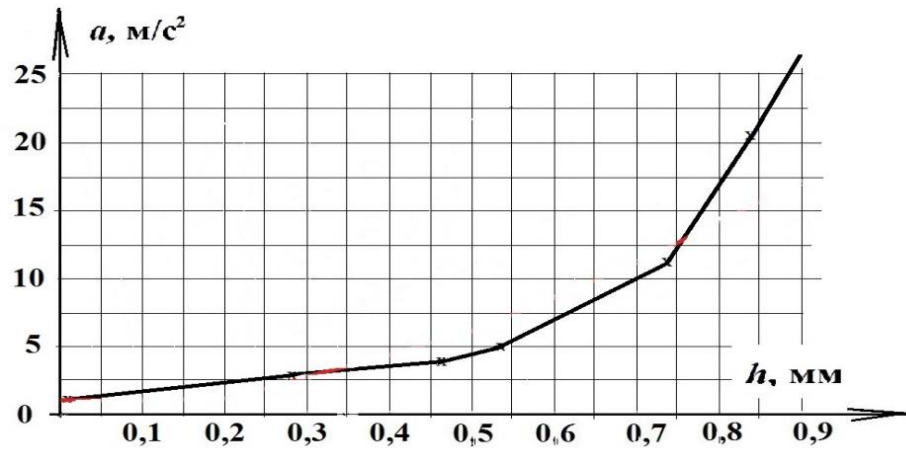
Анализ графиков показал, что наиболее явную зависимость величины виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах имеют графики максимального и среднего верхних значений амплитуды для фазы 1 и 2 (рисунки 4.23 - 4.24). Для дальнейших исследований используем график максимального значения амплитуды, как более близкого к квадратичной зависимости и соответственно имеющего меньшую погрешность измерения (рисунок 4.25 а).

Для получения уравнения зависимости величины виброускорения от величины зазора, необходимо привести полученный график (рисунок 4.25 а) для датчика №1 к виду, который можно описать квадратичным уравнением (рисунок 4.25 б).

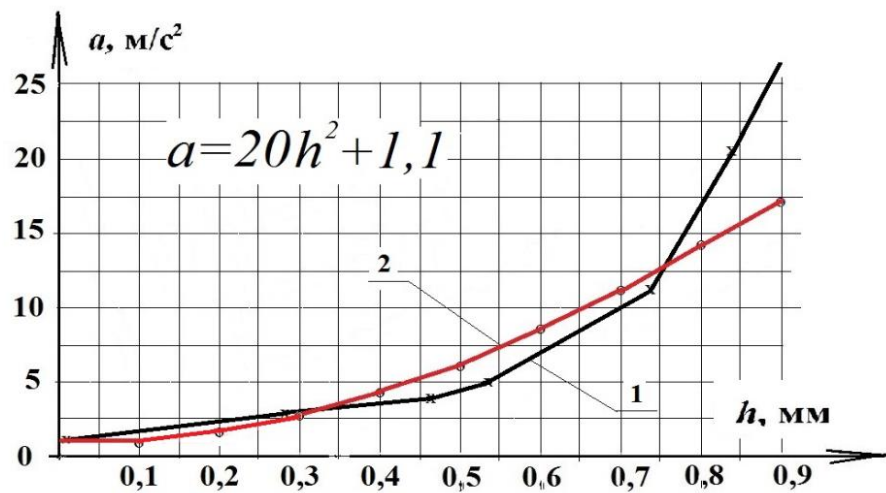
Полученное уравнение имеет вид:

$$a=20h^2+1,1, \quad (4.7)$$

$$h = \sqrt{\frac{a-1,1}{20}}. \quad (4.8)$$



а)



б)

Рисунок 4.25 - График зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора испытательных образцов:

а) график, полученный экспериментальным путем; б) приведение графика к стандартному виду: 1 - график, полученный экспериментальным путем, 2 - приведенный график

Исполняющий работник, в ходе диагностирования подставляет полученные значения виброускорения в уравнение (4.8) и вычисляет фактическое значение величины осевого зазора в шаровых шарнирах с погрешностью не превышающей 10%.

Анализ полученных результатов показал, что величины максимальной и средней амплитуд виброускорения (рисунки 4.23 - 4.24), а также величина напряжения на графиках зависимости величины виброускорения от величины осевого зазора в шарнирах для обоих вибродатчиков на порядок ниже, чем те же характеристики, полученные при проведении стендового лабораторного исследования. Это связано с тем, что вибрации, возникающие в подвеске автомобиля и его шаровых шарнирах, при исследованиях в условиях автосервисного

предприятия в значительной степени поглощаются шинами автомобиля, наполненными воздухом и специально для этого предназначенными. Полученные данные может служить основой для разработки способа диагностирования величины осевого зазора в шаровых шарнирах.

4.2.2 Оценка результатов экспериментального исследования

Механический способ диагностирования (п. 1. 7. 1), не предусматривающий численное определение величины осевого зазора (без использования специальных приспособлений), также был произведен в условиях автосервисного предприятия. Данный способ диагностирования позволяет определить наличие осевого зазора в шарнире при его величине превышающей 0,4 мм, что отражено в таблице 4.7. При величине осевого зазора менее 0,4 мм зазор в шаровом шарнире не определяется, из чего делается заключение, что шарнир является работоспособным. При величине зазора в шарнире более 0,4 мм механический способ позволяет определить наличие зазора в шарнире, при этом исполняющий работник признает шарнир выработавшим свой ресурс и выносит решение о замене шарнира. Погрешность данного метода в пределах величины зазора 0,1-0,9 мм представлена в таблице 4.7, ее максимум составляет 29%.

Таблица 4.7 - Оценка погрешности результатов исследования в условиях автосервисного предприятия при измерении осевого зазора механическим способом

Испытательный образец	Величина осевого зазора, мм (измеренная контрольным устройством)	Величина осевого зазора, мм (измеренная механическим способом)	Погрешность, мм	Погрешность, %
1	2	3	4	5
№1	0,01	0,01	0	0
№2	0,18	0,01	0,17	18,7
№3,4	0,21	0,01	0,20	22,2
№5	0,23	0,01	0,22	24
№6	0,24	0,01	0,23	25,5
№7	0,28	0,1	0,18	20
№8	0,29	0,1	0,19	21,1
№9	0,30	0,1	0,20	22,2

1	2	3	4	5
№10	0,31	0,1	0,21	23,3
№11	0,33	0,1	0,22	24
№12	0,36	0,1	0,26	28,9
№13	0,39	0,1	0,29	32,2
№14	0,46	0,7	0,24	26
№15	0,54	0,7	0,16	18,2
№16	0,59	0,7	0,11	12,2
№17	0,64	0,7	0,06	7,1
№18,19	0,68	0,7	0,02	1,1
№20	0,72	0,7	0,02	1,1
№21	0,74	0,7	0,04	2,4
№22	0,81	0,7	0,11	12,2
№23	0,84	0,7	0,14	15,5
№24	0,86	0,7	0,16	17,2
№25	0,88	0,7	0,18	20
№26	0,89	0,7	0,19	21,1
№27	0,91	0,7	0,21	23,3
№28	0,92	0,7	0,22	24
№29	0,94	0,7	0,24	26
№30	0,96	0,7	0,26	28,9

По разработанному способу диагностирования, погрешность при измерении величины осевого зазора не должна превышать 10%. Анализ полученных экспериментальных данных, в условиях автосервисного предприятия представленный в таблице 4.8, показывает, что 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 %.

Значения виброускорения серии из 9 экспериментов, их среднее арифметическое исправленное значение приведено в таблице 21 приложения 4. На рисунке 4.26 представлены графики верхнего, нижнего и среднего арифметического исправленных значений величины виброускорения. При $n=8$; $P=0,95$; $t_q=2,306$ [124]. Статистическая обработка групп результатов 9 экспериментов представлена в таблице 20 приложения 3.

В наших исследованиях достаточно иметь значение t , равное или более 1,96. Тогда выявленные различия достоверны, не случайны, статистически подтверждены с вероятностью безошибочного прогноза равной или более 95%.

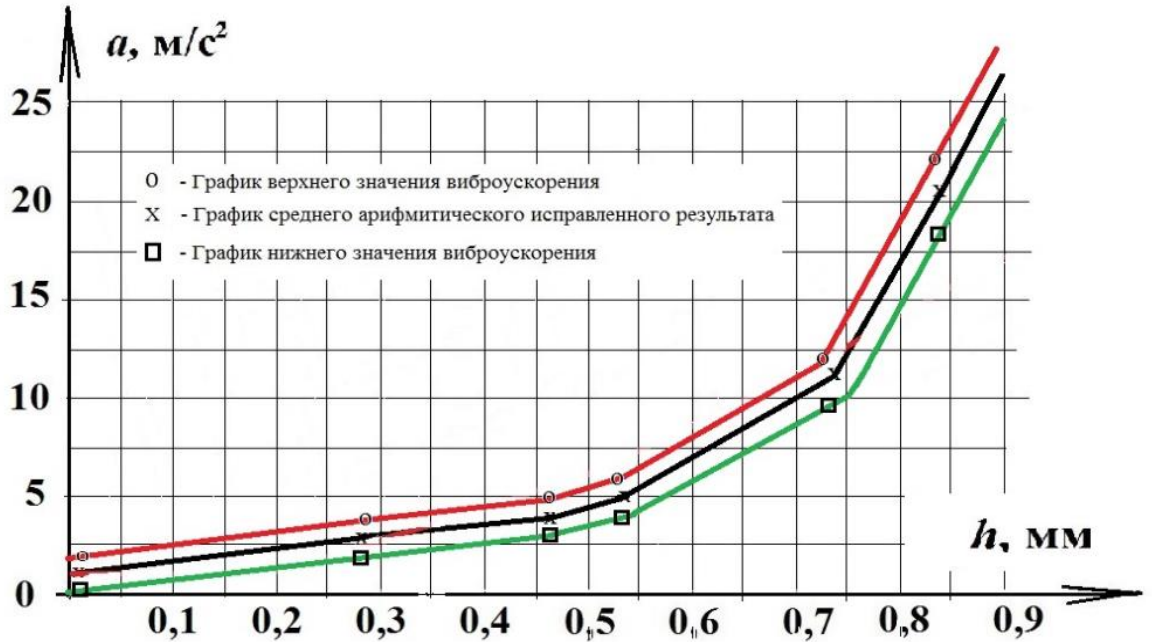


Рисунок 4.26 - Графики верхнего, нижнего и среднего арифметического исправленного значений величины виброускорения

Таблица 4.8 - Оценка погрешности результатов исследования в условиях автосервисного предприятия при измерении вибрационным методом

Испыта- тельный образец	Величина осевого зазора, мм (измеренная контрольным устройством)	Величина виброускорения, для графика полученного эксперименталь- ным путем, mV	Величина виброускорен- ия для приведенного графика, mV	Величина осевого зазора, мм (полученная эксперимента- льным путем)	Погреш- ность, мм	Погре- шност- ь, %
1	2	3	4	5	6	7
№1	0,01	1,1	1,1	0,01	0	0
№2	0,18	2,1	1,8	0,10	0,08	9,9
№3,4	0,21	2,4	1,9	0,09	0,06	7,7
№5	0,23	2,5	2,0	0,17	0,06	7,7
№6	0,24	2,5	2,4	0,20	0,04	5,5

1	2	3	4	5	6	7
№7	0,28	2,6	2,5	0,26	0,02	3,3
№8	0,29	2,7	2,6	0,27	0,02	3,3
№9	0,30	3,0	2,7	0,27	0,3	4,4
№10	0,31	3,0	3,0	0,31	0	0
№11	0,33	3,1	3,1	0,33	0	0
№12	0,36	3,1	3,5	0,40	0,04	5,5
№13	0,39	3,5	4,4	0,47	0,08	9,9
№14	0,46	3,6	5,1	0,54	0,08	9,9
№15	0,54	5,1	7	0,59	0,05	6,6
№16	0,59	7,2	8,1	0,63	0,04	5,5
№17	0,64	8,2	9,8	0,57	0,07	8,8
№18,19	0,68	9,1	11,1	0,72	0,04	5,5
№20	0,72	10,1	10,2	0,74	0,02	3,3
№21	0,74	10,8	11,8	0,75	0,01	1,1
№22	0,81	17,7	14,8	0,77	0,04	5,5
№23	0,84	20,5	15,4	0,78	0,06	7,7
№24	0,86	22,5	16,1	0,79	0,07	8,8
№25	0,88	26,1	17,0	0,80	0,08	9,9
№26	0,89	27,2	17,2	0,81	0,08	9,9

Выводы по главе

1. Проведены экспериментальные исследования по определению величины осевого зазора в шаровых шарнирах с применением вибрационного способа, получены численные значения виброускорения и их сопоставление с величиной осевого зазора:

- для условий лабораторных стендовых исследований от $1,4 \text{ м/с}^2$, что соответствует величине осевого зазора $0,01 \text{ мм}$, до 95 м/с^2 - соответствует осевому зазору $0,9 \text{ мм}$.;

- для условий автосервисного предприятия от $1,0 \text{ м/с}^2$, что соответствует величине осевого зазора $0,01 \text{ мм}$ до $2,8 \text{ м/с}^2$ - соответствует осевому зазору $0,9 \text{ мм}$.

2. На основе анализа графиков зависимости максимальной амплитуды виброускорения a от времени проведения эксперимента, в испытательных образцах с величиной осевого зазора $0,01 - 0,9 \text{ мм}$, 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: $h = \sqrt{\frac{a-1,1}{20}}$.

3. Установлено, что для корректного измерения виброускорения в шаровом шарнире достаточно применять один вибродатчик ДН-3, устанавливаемый в контакте с испытательным образцом, параллельно продольной оси шарового пальца.

4. 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.

ГЛАВА 5. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕВОГО ЗАЗОРА В ШАРОВЫХ ШАРНИРАХ

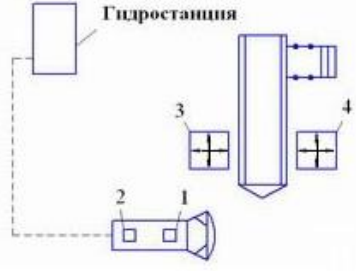
5.1 Технология диагностирования шаровых шарниров с помощью вибрационного способа

Разработанный стенд для испытания и диагностирования элементов подвески (п. 3) также может быть использован на предприятиях производящих элементы ходовой части автомобилей для контроля их качества.

Диагностирование передней подвески легкового автомобиля традиционным способом с помощью люфт-детектора в условиях автосервисного предприятия представлено в таблице 5.1 [127] и состоит из следующих этапов:

- 1) установка автомобиля на опорные платформы люфт-детектора;
- 2) подъем люфт-детектора вместе с автомобилем и его установка в рабочее положение (рисунок 4.50);
- 3) исполняющий работник управляет с помощью пульта работой люфт – детектора. Платформы перемещаются, аналогично движению автомобиля по дороге. Подвеска автомобиля начинает работать соответственно движению автомобиля по дороге. В комплект детектора входит фонарь, который позволяет рассмотреть все элементы подвески, кроме того, с помощью пульта управления (рисунок 4.4), оператор может отдельно нагружать различные элементам подвески или рулевого управления [129].
- 4) далее перед исполняющим работником встает задача определить элементы подвески, рулевого управления и шасси автомобиля, имеющие люфт и нуждающиеся в ремонте или замене. Эта операция производится органолептическим способом.
- 5) далее исполняющий работник повторяет п.4 для подтверждения или опровержения полученной информации.
- б) исполняющий работник проводит анализ полученных данных, на основе которых он определяет техническое состояние диагностируемых элементов.

Таблица 5.1 Технологическая карта диагностирования шаровых шарниров подвески автомобиля «Daewoo Nexia» традиционным способом

№ пункта	Содержание операции	Приборы и инструмент	Технические условия	Трудоемкость чел. час.
			Пункт технического осмотра	
Общая трудоемкость 0,424			контролер (лицензированный)	
1	Установка автомобиля на опорные платформы люфт-детектора, его фиксация на подвижных платформах	Детектор люфтов ходовой части для легковых автомобилей		0,03
2	Подъем автомобиля и приведение люфт-детектора в рабочее положение			0,02
3	Визуальная проверка технического состояния шаровых шарниров	Слесарный инструмент, ключи гаечные № 17, 13	проверка на наличие герметичности защитного чехла, деформации и трещин корпуса шарнира, пальца, элементов крепления	0,03
4	Нажать кнопки 1 и 2, проверить люфт в шаровых шарнирах и анализ полученной информации	Детектор люфтов, площадки 3 и 4	отсутствие зазоров и люфтов, осевой зазор в шаровом шарнире не должен превышать 0,7 мм.	0,17
5	Отключить кнопки 1 и 2	Детектор люфтов, площадки 3 и 4		0,002
6	Нажать кнопки 1 и 2, повторно проверить люфт в шаровых шарнирах, повторный анализ полученной информации	Детектор люфтов, площадки 3 и 4	отсутствие зазоров и люфтов, осевой зазор в шаровом шарнире не должен превышать 0,7 мм.	0,17
7	Отключить кнопки 1 и 2	Детектор люфтов, площадки 3 и 4		0,002

7) в некоторых случаях скрытые или незначительные дефекты могут быть не замечены оператором при проверке, что негативно отражается на качестве диагностических работ. Это приводит к необходимости совершать пробную поездку на диагностируемом автомобиле, с целью получения информации о характере шумов, стуков, вибраций в реальной эксплуатации, что требует затрат дополнительного времени.

Анализ автосервисных предприятий по обслуживанию различных легковых автомобилей малого среднего класса, а также автомобиля «Daewoo Nexia» [130-133] показал, что средняя продолжительность диагностики подвески с использованием люфт-детекторов составляет от 0,4 до 1,0 часа. В некоторых случаях возможны затруднения при диагностике подвески [134], что приводит к увеличению времени диагностики на 20-40%.

При этом затраты времени при диагностировании распределяются следующим образом:

5-10% - подготовка автомобиля и люфт-детектора к диагностированию, настройка оборудования;

40-50% - непосредственно диагностирование подвески;

40-45% - анализ диагностирования, включая повторное диагностирование, пробную поездку (при необходимости), постановка диагноза.

Таким образом затраты времени связанные с несовершенством существующей технологии диагностирования могут достигать до 45% от общего времени диагностирования, что в переводе на минуты может составлять 20-30 мин. и более в зависимости от ситуации на каждый диагностируемый автомобиль малого и среднего класса.

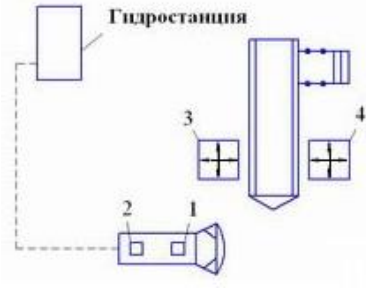
Диагностирование передней подвески легкового автомобиля вибрационным способом с помощью люфт-детектора и специализированного оборудования отличается от диагностирования традиционным способом тем, что исполняющий работник после проведения этапа 3 (п. 5.2.1) дает заключение о техническом состоянии шарниров на основе полученных графиков с точностью не менее 90%. Технологическая карта диагностирования шаровых шарниров подвески автомобиля «Daewoo Nexia» вибрационным способом представлена в таблице 5.2 и состоит из следующих этапов:

1) Установка автомобиля на платформы люфт-детектора;

2) подъем люфт-детектора вместе с автомобилем и его установка в рабочее положение (рисунок 4.50);

3) исполняющий работник приводит в действие платформы, которые перемещаются, аналогично движению по дорожному полотну.

Таблица 5.2 Технологическая карта диагностирования шаровых шарниров подвески автомобиля «Daewoo Nexia» вибрационным способом

				Пункт техническ ого осмотра
				Общая трудоемкость 0,114
№ пу нк т а	Содержание операции	Приборы и инструмент	Технические условия	Трудоемк ость чел. час.
1	Установка автомобиля на опорные платформы люфт-детектора, его фиксация на подвижных платформах	Детектор люфтов ходовой части для легковых автомобилей		0,03
2	Подъем автомобиля и приведение люфт-детектора в рабочее положение			0,02
3	Визуальная проверка технического состояния шаровых шарниров	Слесарный инструмент, ключи гаечные № 17, 13	проверка на наличие герметичности защитного чехла, деформации и трещин корпуса шарнира, пальца, элементов крепления	0,03
4	Установка вибродатчиков на шаровые шарниры	неодимовые магниты для установки вибродатчиков	контакт вибродатчиков с корпусом шаровых шарниров в области исследуемого сопряжения	0,002
5	Нажать кнопки 1 и 2, проверить люфт в шаровых шарнирах	Детектор люфтов площадки 3 и 4	отсутствие зазоров и люфтов	0,02
6	Отключить кнопки 1 и 2	Детектор люфтов площадки 3 и 4		0,002
7	Анализ полученной информации		осевой зазор в шаровом шарнире не должен превышать 0,7 мм.	0,01

4) исполняющий работник, подставляет полученные значения виброускорения в уравнение (4.8) и вычисляет фактическое значение величины осевого зазора в шарнире с погрешностью не превышающей 10%, затраты времени при этом не превышают 5 мин.

5) анализируя полученные данные, исполняющий работник делает заключение о техническом состоянии проверяемых элементов.

Практическая значимость результатов проведенной работы заключается в повышении качества диагностирования подвески легковых автомобилей за счет вибрационного диагностирования. Это позволяет определять техническое состояние шаровых шарниров по величине осевого зазора с погрешностью до 10%.

К критериям эффективности диагностирования разработанного способа относятся:

- повышение точности измерения осевого зазора в шаровых шарнирах;
- снижение времени диагностирования подвески автомобиля на 20-30 мин (до 45 %).
- универсальность - возможность применения способа для широкого спектра легковых автомобилей с передней подвеской типа «МакФерсон».

Для определения периодичности диагностических воздействий на шаровый шарнир, необходимо знать его ресурс. Анализ различных конструкций и производителей шаровых шарниров, а так же опыт их эксплуатации на различных легковых автомобилях, оснащенных передней подвеской типа «МакФерсон» показал, что ресурс шаровых шарниров находится в пределах величины пробега автомобиля 25 000 - 120 000 км. Такой большой разброс ресурса можно объяснить следующими причинами:

- качество дорожного покрытия, на котором происходит эксплуатация автомобиля. При проезде больших неровностей дорожного покрытия (ямы, бугры, кочки и др.) на высокой скорости, ресурс шаровых шарниров и других элементов подвески может сокращаться до нескольких десятков раз;

- качество изготовления самого шарового шарнира, в значительной степени может влиять на его ресурс. В частности это влияние определяется качеством смазочного материала внутри шарнира, качеством материала изготовления и крепления защитного чехла, первоначально установленным зазором в сопряжении «головка пальца – полимерный вкладыш» и др.

- режимы эксплуатации автомобиля, к ним можно отнести: степень загрузки автомобиля и скоростные режимы движения (определяют нагрузки, возникающие в шаровых шарнирах), климатические условия (использование реагентов, песка, соли для борьбы с гололедом, дождь, перепады температур) приводят к преждевременному изнашиванию защитного чехла шарового шарнира и его крепления к шарниру.

Учитывая вышесказанное, периодичность диагностирования подвески легковых автомобилей с помощью разработанного вибрационного способа рекомендуется устанавливать при каждом техническом обслуживании автомобиля, а так же дополнительно между техническими обслуживаниями при появлении посторонних звуков, шумов и скрипов от подвески автомобиля или при ухудшении управляемости автомобиля.

Разработанный способ диагностирования величины осевого зазора шаровых шарниров подвески легковых автомобилей был апробирован и внедрен в производство на автосервисном предприятии ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание» г. Орел (приложение Д) и может быть использован для легковых автомобилей оснащенных передней подвеской типа «МакФерсон», имеющих диаметр головки шарового пальца 25-35 мм. К таким автомобилям можно отнести отечественные модели: ВАЗ 2108-2115, «Калина», «Гранта», «Приора», «Ларгус», ИЖ-2175 и их аналоги, а также зарубежные автомобили и их аналоги, представленные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Зарубежные автомобили, для которых может быть использован разработанный способ диагностирования шаровых шарниров подвески

Марка автомобиля	классы автомобилей						
	особо малый	малый	малый средний	средни й	бизнес	кроссовер	минивен
1	2	3	4	5	6	7	8
Chevrolet	Spark	Corsa	Aveo, Cobalt Lanos	Cruze, Epica, Lacetti	-	Captiva, Tracke, Blazer, TrailBlazer	Orlando, Rezzo
Chery	A3, Kimo, QQ6, QQ, Very	Amulet, Bonus, IndiS	Fora	-	-	Tiggo	CrossEaste r
Citroen	C1	C- Elysee, C2	C3, C4, DS3, DS4, Xantia, Xsara	DS5	-	C-Crosser	Berlingo, Picasso
Daewoo	Damas , Mati,	Nexia	Espero, Gentra, Leganza, Nubira	-	Magnus	-	Rezzo
Fiat	-	Brava, Bravo, Croma, Panda, Punto, Stilo	Linea, Marea, Palio	-	-	-	Doblo, Multipla

1	2	3	4	5	6	7	8
Ford	KA	B-MAX, Fiesta	C-MAX, Escort, Fusion	Focus	Mondeo , Taurus	Escape, Kuga	Galaxy, S- MAX
Honda	-	-	Civic	-	Accord	CR-V, Element, HR- V	Fit, Jazz
Hyundai	-	Accent, Getz, i10, Solaris	Elantra, i20, Lantra	i30	-	ix20, ix35, Tucson	Matrix
Kia	Picanto	Avella, Venga	Cee'd, Cerato, Clarus, Rio, Sephia, Shuma Spectra	-	-	Soul, Sportage	Carens, Carnival
Mazda	-	2, Demio	3, 323	5, 6, 626, Xedos6	-	CX-5, CX-7, Tribute	MPV, Premacy
Mitsubishi	-	Colt	Carisma , Lancer	Galant	-	ASX, Outlander	SpaceStar, SpaceWagon
Nissan	Micra	Almera, Note, Sunny, Tiida, Tino	Primera	-	-	Juke, Qashqai, X- Trail	-
Opel	Tigra	Agila, Corsa, Meriva	Astra	Vectra	Omega	Antara, Mokka	Zafira
Peugeot	107, 106	206, 207, 208	301, 306, 307, 308	406, 407, 408	508, 605	2008, 3008, 4007, 4008, 5008	Partner
Renault	-	19, Clio Logan, Modus, Sandero, Simbol	Laguna, Megane	Fluence	-	Duster, Koleos	Kangoo, Scenic
Skoda	-	Fabia, Felicia, Rapid	Octavia	-	Superb	Yeti	Roomster
SsangYoung	-	-	-	-	-	Action	-
Suzuki	Splash	Swift	-	-	-	Grand Vitara, SX4	Liana

1	2	3	4	5	6	7	8
Toyota	-	Auris, Yaris	Carina, Corolla	Avensis	Camry	RAV4	-
Volkswagen	-	Beetle, Eos, Fox, Pointer, Polo, Scirocco	Bora, Golf, Jetta	Passat	-	Tiguan	Caddy, Multivan, Sharan, Touran
Volvo	-	C30	C40	C70, S60	S70	XC60, XC70	-

5.2 Производственные рекомендации по внедрению вибрационного способа определения осевого зазора в шаровых шарнирах

Для корректного измерения виброускорения в шаровом шарнире при диагностировании в условиях автосервисных предприятий необходимо выполнить ряд условий, к которым относятся:

- необходимость применения одного вибродатчика ДН-3 на один диагностируемый шаровый шарнир, что обосновано и подтверждено в п.4.1.1.

- установка вибродатчика должна производиться в контакте с шаровым шарниром в области сопряжения корпуса шарнира с полимерным вкладышем и сферической частью шарового пальца, параллельно продольной оси шарового пальца. Анализ конструкций шаровых шарниров, проведенный в п. 1.3.1 показал, что для большинства конструкций шарниров наиболее оптимальным расположением вибродатчика является боковое (рисунки 3.26 и 5.1).

- способ крепления вибродатчика – с помощью неодимового магнита толщиной не более 4 мм. При невозможности использования магнита допускается использование пластины с отверстиями для крепления к штатным местам установки шарового шарнира и отверстием для крепления вибродатчика, изготавливаемая индивидуально для каждой конструкции подвески.

- режим работы диагностического стенда – должен обеспечивать колебания шарового шарнира и элементов подвески с частотой 1,8 - 2,2 Гц.

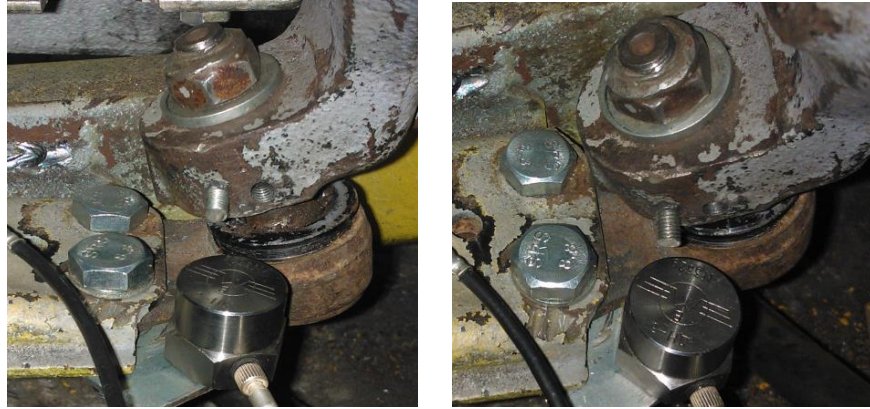


Рисунок 5.1 – Пример установки и ориентации вибродатчика при диагностировании шарового шарнира в условиях автосервисных предприятий

Для подтверждения корректности разработанного вибрационного способа диагностирования шаровых шарниров были проведены экспериментальные исследования для автомобиля среднего класса Volkswagen Passat B5. Они показали, что зависимость величины виброускорения от осевого зазора, а так же ее численные значения сохраняются, при условии соблюдения производственных рекомендаций, в особенности обеспечения колебаний шарового шарнира и элементов подвески с частотой 1,8 - 2,2 Гц при проведении диагностирования.

5.3 Расчет экономического эффекта

Экономический эффект от применения вибрационного способа диагностирования величины осевого зазора шаровых шарниров заключается в снижении времени проведения диагностирования по сравнению с традиционным способом.

Экономическая эффективность при внедрении разработанного способа диагностирования [135-136] рассчитывается по формуле:

$$K = C_{нч}(t_{д1} - t_{д2}) n_{а см} N_{с г} k. \quad (5.1)$$

По данным Автотехцентра ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание» г. Орел средняя стоимость нормо-часа диагностирования подвески $C_{нч}$ составляет 800 р. Средняя продолжительность диагностирования подвески с использованием люфт-детекторов $t_{д1}$ составляет 0,5 часа. Количество заездов автомобилей за смену для диагностики подвески $n_{а см} = 3$. Среднее количество смен за год $N_{с г} = 360$ (с учетом 1 января - выходной день, праздничные дни - сокращенные смены). Средняя продолжительность диагностирования подвески с применением нового способа составляет $t_{д2} = 0,2$ часа (п. 5.2.1). Анализ загруженности автотехцентра ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание» г. Орел показал, что около

30 % освободившегося времени к диагноста и оборудования может быть использовано для выполнения других работ.

Получаем: $K = 77\,760$ руб/год.

Себестоимость внедрения вибрационного способа диагностирования величины осевого зазора шаровых шарниров легкового автомобиля определяется по формуле:

$$C_{д2} = C_{п} + \sum C_1 \dots C_n; \quad (5.2)$$

где, $C_1 \dots C_n$ - Себестоимость каждого отдельного компонента диагностического комплекса (таблица 5.4);

$C_{п}$ - Стоимость работ по подключению, настройке оборудования и обучению персонала по эксплуатации диагностического оборудования;

$C_{п} = 3000$ р . Определяется экспериментальным путем при проведении исследования в условиях автосервисных предприятий, с учетом стоимости часа работы специалиста по настройке аппаратной и программной частей 750 руб/час [133].

Таблица 5.4 – Себестоимость внедрения вибрационного способа диагностирования величины осевого зазора шаровых шарниров передней подвески легкового автомобиля

№ п/п	Оборудование	Сумма, руб.
1	Вибродатчик ДН-3	7800
2	Кабель вибродатчика ДН-3, 3м.	1900
3	программное обеспечение - LabVIEW SignalExpress + аналогово-цифровой преобразователь (АЦП)	66 600
4	Мобильный компьютер	15 000
5	Неодимовый магнит для крепления вибродатчика	500
	Итого	91 800

Получаем: $C_{д2} = 94800$ руб.

Расчет срока окупаемости вибрационного способа диагностирования величины осевого зазора шаровых шарниров передней подвески легкового автомобиля C_o производим согласно уравнению (5.3):

$$C_o = \frac{C_{д2}}{K}, \quad (5.3)$$

Получаем, $C_o = 1,22$ года. Все расчетные данные приведены по состоянию на первое полугодие 2014 г.

Выводы по главе

1. Практическая значимость результатов проведенной работы заключается в обеспечении безопасности движения автомобиля за счет повышения эффективности диагностирования подвески легковых автомобилей по следующим критериям эффективности:

а) точность оценки величины осевого зазора, в три раза выше по сравнению с традиционным способом.

б) время диагностирования. Разработана технология определения технического состояния шаровых шарниров вибрационным способом и технологическая карта диагностирования, при этом экономия времени составляет до 50% от общего времени диагностирования шаровых шарниров традиционным способом;

в) универсальность, возможность применения разработанного способа диагностирования для легковых автомобилей с передней подвеской типа «МакФерсон» (составляющих 80% всех легковых автомобилей).

2. Разработаны практические рекомендации по внедрению вибрационного способа определения технического состояния шаровых шарниров в условиях производства, которые определяют места расположения и способ крепления вибродатчиков относительно элементов подвески, а так же режимы работы диагностического стенда.

3. Определены экономические показатели эффективности вибрационного способа определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах на предприятии ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание», г. Орел. Срок окупаемости вибрационного способа определения технического состояния шаровых шарниров легковых автомобилей составит 1,22 года. Экономический эффект от применения вибрационного способа составит 77 760 руб/год.

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 $1,4 \text{ м/с}^2$, что соответствует величине осевого зазора $0,01 \text{ мм}$, до 95 м/с^2 - соответствует осевому зазору $0,9 \text{ мм}$;
- для условий автосервисного предприятия от $1,0 \text{ м/с}^2$, что соответствует величине осевого зазора $0,01 \text{ мм}$ до $2,8 \text{ м/с}^2$ - соответствует осевому зазору $0,9 \text{ мм}$.

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 сокращении 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Караулин А.Л.** Конструкция автомобиля. Шасси / А. Л. Караулин. – М.: МГТУ МАМИ, 2000. – 528 с.
2. **Раймпель, Й.** Шасси автомобиля: Элементы подвески / Й. Раймпель; Пер. с нем. А. Л. Карпухина. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. **Ротенберг, Р. В.** Теория подвески автомобиля / Р. В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
4. **Гун, И. Г.** Методика испытания шаровых шарниров на циклическую долговечность / И. Г. Гун, И. А. Михайловский, В. В. Лапчинский // Вестник ОГУ. – 2004. – №3. – С.18-21 .
5. **Пальцы шаровые передней подвески автомобилей ВАЗ в сборе.** Технические условия ТУ 4591–002–50791834–2003. Дата введения 02. 08.2003 г.
6. **Катунин, А. А.** Технологическое обеспечение качества сферических головок шаровых пальцев обкаткой бессепараторным инструментом: дисс. ... канд. техн. наук. 05.02.08. – Орел, 2009. –171 с.
7. **Калмыков, Ю. В.** Совершенствование процесса запрессовки с целью повышения уровня качества шаровых шарниров передней подвески автомобилей: дисс. ... канд. техн. наук. 05.02.23. – Магнитогорск, 2010. –121 с.
8. **Шурыгин, В. О.** Моделирование и алгоритмизация управления технологическими операциями виброакустической диагноститки подшипниковых узлов промышленного оборудования: дисс. ... канд. техн. наук. 05.13.06. – Воронеж, 2008. – 138 с.
9. **Фролов, А. М.** Совершенствование системы проектирования элементов сферических шарниров с учетом реновационных мероприятий в их полном жизненном цикле: дисс. ... канд. техн. наук. 05.05.03. – Набережные Челны, 2004. – 145 с.
10. **Лапчинский, В. В.** Определение закономерности изменения технического состояния шаровых пальцев передней подвески автомобилей: дисс. ... канд. техн. наук. 05.22.10. – Магнитогорск, 2005. – 118 с.
11. **Ossa, E.A.** Failure analysis of a car suspension system ball joint / E.A. Ossa, C.C. Palacio, M.A. Paniagua // Engineering Failure Analysis. – 2011. – № 18. – P. 1388-1394.
12. **Fischer, I. S.** Numerical analysis of displacements in spatial mechanisms with ball joints / Ian S. Fischer // Mechanism and Machine Theory. – 2000. – № 35. – P. 1623-1640.
13. **Fischer, I. S.** Velocity analysis of mechanisms with ball joints / Ian S. Fischer // Mechanics Research Communications. – 2003. – № 30. – P. 69-78.
14. **Kang, J.** Theoretical model of ball joint squeak / Jaeyoung Kang // Journal of Sound and Vibration. – 2011. – № 330. – P. 5490-5499.

15. **Large-scale friction and wear tests on a hybrid UHMWPE-pad/primer coating combination used as bearing element in an extremely high-loaded ball-joint** / P. Samyn [et al.] // Tribology International. – 2006. – № 39. – P. 796–811.

16. **A two phase circular regression algorithm for quantifying wear in CV joint ball race tracks** / Mike L [et al.] // Wear. – 1996. – № 199. – P. 160–168.

17. **Chen, J.** Three-dimensional vibration of a buckled elastica supported by spherical hinges / Jen-San Chen, Joyce Fang // International Journal of Solids and Structures. – 2014. – № 51. – P. 35–40.

18. **Подвеска автомобиля** [Электронный ресурс] / Авто тут: ООО «Мир Интернет». – Режим доступа: <http://www.avtotut.ru/repair/equipment/Podveska>, свободный. (Дата обращения: 14.01.2014).

19. **Чумаченко, Ю. Т.** Автослесарь. Устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебное пособие [Текст] / Ю. Т. Чумаченко, А. И. Гирасименко, Б. Б. Рассанов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 544 с.

20. **Виды подвесок автомобилей** [Электронный ресурс] / Интернет-магазин Alter Vita Studio. – Режим доступа: http://udtuning.ru/masterskaya/pnevmpodveski/vidy_podvesok, свободный. (Дата обращения: 14.01.2014).

21. **Механизм ДТП по связи «причина-следствие»** [Электронный ресурс] / Общественная организация «Дорожный контроль Севастополь». – Режим доступа: <http://roadonline.info/12446-mehanizm-dtp-po-svyazi-prichina-sledstvie.html>, свободный. (Дата обращения 14.01.2014).

22. **Дорожно-транспортные происшествия и их причины** [Электронный ресурс] / Кандалакшская автошкола ДОССАФ России. – Режим доступа: <http://www.dosaaf-51.ru/page,4,bezopasnost.html>, свободный. (Дата обращения 14.01.2014).

23. **Неисправность транспортного средства как причина ДТП** [Электронный ресурс] / StatsData.RU занимательная статистика и интересные факты. – Режим доступа: <http://www.statsdata.ru/content/view/36-18.html>, свободный. (Дата обращения 14.01.2014).

24. **ГОСТ Р52302–2004.** Автотранспортные средства, управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – Введ. 01.01.2006. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 37 с.

25. **Денисов, И. В.** Анализ технических неисправностей систем автомобиля, влияющих на безопасность движения / И. В. Денисов, Ю.В. Баженов // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин: мат. междунаrodn. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТГНУ, 2009. – С.102 – 106.

26. **Денисов, И. В.** Разработка методики управления техническим состоянием рулевого управления переднеприводных автомобилей ВАЗ в условиях эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Владимир, 2007. – 137 с.

27. **ГОСТ Р51814.2–2001.** Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – Введ. 02.10.2001. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 19 с.

28. **Разговоров, К. И.** Разработка оптимальной системы поддержания автомобилей в работоспособном состоянии: на примере передней подвески и рулевого привода переднеприводных автомобилей семейства ВАЗ: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Владимир, 2003. – 128 с.

29. **Раймпель, Й.** Шасси автомобиля: Конструкции подвесок [Текст] / Раймпель Й // Пер. с нем. В. П. Агапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

30. **Пат. 2270378 Российская Федерация, МПК, F16C 11/06.** Корпус шарового шарнира / В. П. Недиков.; заявитель и патентообладатель В. П. Недиков. – № 2004104043/11; заявл. 11.02.2004; опубл. 20.02.2006. – 3 с.

31. **Свидетельство на полезную модель 38863 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/08.** Палец шарового шарнира / В. П. Недиков.; – № 2004102494/20; заявл. 30.01.2004; опубл. 10.07.2004. – 2 с.

32. **Свидетельство на полезную модель 28520 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06.** Вкладыш шарового шарнира / В. А. Гаас; – № 2001112378/20, заявл. 11.05.2001; опубл. 27.03.2003. – 3 с.

33. **Свидетельство на полезную модель 25256 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06.** Защитный чехол шарового шарнира / А.Н. Падучин, В.А. Коротич, И.М. Крымский; – № 2002111730/20, заявл. 29.04.2002; опубл. 20.11.2002. – 2 с.

34. **Свидетельство на полезную модель 41099 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06.** Комбинированный чехол шарового шарнира / В. П. Недиков; – № 2004113512/22, заявл. 05.05.2004; опубл. 10.10.2004. – 4 с.

35. **Заявка на изобретение № 2008102007/11, Российская Федерация, МПК F16C 11/06.** Шаровая опора транспортного средства / З. Д. Симогаева; заявл. 24.01.2008; опубл. 27.07.2009. – 2 с.

36. **Заявка на изобретение № 2007119798/11, Российская Федерация, МПК F16C 11/06.** Шаровой шарнир / И. И. Артемов, А. А Войнов, Е. С. Люлюкин; заявл. 28.05.2007; опубл. 10.12.2008. – 3 с.

37. Заявка на изобретение № 2005124061/11, Российская Федерация, МПК F16C 11/00. Универсальная шаровая опора Гладышева / А. Б. Гладышев; заявл. 28.07.2005; опубл. 10.02.2007. – 3 с.

38. Пат. 78280 Российская Федерация, МПК, F16C 11/06. Шаровой шарнир / И. А. Махмутов.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное объединение "ИНТЕРМАШ".; – № 2008127563/22; заявл. 09.07.2008; опубл. 20.11.2008. – 4 с.

39. Пат. 77923 Российская Федерация, МПК, F16C 11/06. Шаровая опора транспортного средства / З. Д. Симогаева.; заявитель и патентообладатель О. О. Тихоненко; – № 2007104729/22; заявл. 08.02.2007; опубл. 10.11.2008. – 4 с.

40. Пат. 67204 Республика Беларусь, МПК, F16C 11/06. Шаровая опора / В. И. Арбузов.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью (НПООО) "Фенокс".; – № 2007117179/22; заявл. 07.05.2007; опубл. 10.10.2007. – 3 с.

41. Пат. 50617 Республика Беларусь, МПК, F16C 11/06. Шаровая опора / В. И. Арбузов.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью (НПООО) "Фенокс".; – № 2005125393/22; заявл. 09.08.2005; опубл. 20.01.2006. – 4 с.

42. Пат. 49936 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06. Шаровая опора транспортного средства / А. Б. Гладышев.; заявитель и патентообладатель А. Б. Гладышев.; – № 2005121955/22; заявл. 11.07.2005; опубл. 10.12.2005. – 3 с.

43. Пат. 48209 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06. Шаровая опора транспортного средства (варианты) / А. Б. Гладышев.; заявитель и патентообладатель А. Б. Гладышев.; – № 2005116991/22; заявл. 02.06.2005; опубл. 27.09.2005. – 4 с.

44. Свидетельство на полезную модель 40773 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06. Уплотняющая втулка шарового шарнира / В. П. Недиков.; – № 2004111117/22; заявл. 12.04.2004; опубл. 27.09.2004. – 2 с.

45. Заявка на изобретение № 98108881/28 Российская Федерация, МПК7 F16C 11/06. Универсальный шаровый шарнир Недикова / В. П. Недиков.; заявл. 19.05.1998; опубл. 10.05.1999. – 3 с.

46. Свидетельство на полезную модель 31370 Российская Федерация, МПК7, B62D55/04, B62D55/00. Шарнирное соединение / О. Б. Егорова, В. С. Тарасов.; – № 2002135445/20; заявл. 30.12.2002; опубл. 10.08.2003. – 2 с.

47. **Свидетельство на полезную модель 30408 Российская Федерация, МПК7, F16C11/06, B08B17/04.** Шаровой шарнир автомобиля / В. Д. Смирнов, В. Л. Лапин.; – № 2003100320/20; заявл. 04.01.2003; опубл. 27.06.2003. – 3 с.

48. **Свидетельство на полезную модель 15922 Российская Федерация, МПК7, F16C11/06, B08B17/04.** Шаровое шарнирное соединение / В.Г. Ардабьевский, В.Н. Митяшин, С.С. Портной.; – № 2000115489/20, заявл. 15.06.2000; опубл. 20.11.2000. – 2 с.

49. **Пат. 2272187 Российская Федерация, МПК, F16C 11/06.** Шаровой шарнир и способ его сборки / А. В. Кинер, А. Н. Падучин, А. С. Осипов.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество производственное объединение "ТРЕК".; – № 2004116402/11; заявл. 31.05.2004; опубл. 20.03.2006. – 4 с.

50. **Свидетельство на полезную модель 33188 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06.** Шаровой шарнир В. Недикова / В. П. Недиков.; – № 2003116484/20; заявл. 04.06.2003; опубл. 10.10.2003. – 2 с.

51. **Пат. 2264564 Российская Федерация, МПК7 F16C 11/06.** Универсальный шаровый шарнир Недикова «УШШН-2» / В. П. Недиков.; заявитель и патентообладатель В. П. Недиков.; – № 2003119391/11; заявл. 25.06.2003; опубл. 20.12.2004. – 4 с.

52. **Пат. 69172 Российская Федерация, МПК, F16C 11/06.** Шаровой шарнир / О. С. Железков, У. В. Мизайлова.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова".; – № 2007127324/22; заявл. 16.07.2007; опубл. 10.12.2007. – 4 с.

53. **Пат. 2220336 Российская Федерация, МПК7 F16C 11/00, F16C 11/06.** Способ сборки шарового шарнира / Л.Т. Бойченко, Ю.П. Прядильщиков, Ю.Н. Левин.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "АВТОВАЗ".; – № 2001130292/11; заявл. 08.11.2001; опубл. 27.08.2003. – 3 с.

54. **Свидетельство на полезную модель 32839 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06.** Шаровой шарнир / И. Г. Гун.; – № 2003114642/20; заявл. 22.05.2003; опубл. 10.10.2004. – 2 с.

55. **Пат. 2352829 Российская Федерация, МПК, F16C 11/06.** Шаровая опора / И. И. Артемов, А. А. Войнов, М. В. Косаров.; заявитель и патентообладатель Пензенский Государственный Университет (ПГУ).; – № 2007142171/11; заявл. 14.11.2007; опубл. 20.04.2009. – 3 с.

56. **Пат. 2239106 Российская Федерация, МПК7 F16C 11/06.** Шаровая опора транспортного средства / В. П. Недиков.; заявитель и патентообладатель В. П. Недиков.; – № 2003116041/11; заявл. 29.05.2003; опубл. 27.10.2004. – 4 с.

57. **Заявка на изобретение № 2002113803/11** , Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06. Шаровой шарнир регулируемый / А. А. Опара, С. П. Железнов, Т. И. Шаймарданова.; заявл. 27.05.2002; опубл. 27.01.2004.–2 с.

58. **Заявка на изобретение № 97115096/28** Российская Федерация, МПК6 F16C 11/06. Шаровый шарнир / А.М. Соловьев, А.М. Мартиросян, Н.И. Бондарев, В.И. Сергеев.; заявл. 08.09.1997; опубл. 20.11.1998. – 2 с.

59. **Шарнирные головки, сферические подшипники скольжения, и наконечники гидро- и пневмоцилиндров** / FLURO-Gelenklager GmbH Siemensstrasse 13 D-72348 Rosenfeld. – Germany, 2011. – 80 с.

60. **Черногоров, Е. М.** Подшипники скольжения [Текст] / Черногоров Е. М. - Челябинск: 2003. – 9 с.

61. **Расчет подшипников скольжения с полусухим или полужидкостным трением** [Электронный ресурс] / Метизы и крепеж: информация, расчеты, калькуляторы, ГОСТы. – Режим доступа: http://www.metiz-krepej.ru/podshipnik/raschet_podshipnikov_skolzheniia_s_polusuhim_ili_poluzhidkostnym_treniem.html, свободный. (Дата обращения 23.01.2014).

62. **Чернавский, С. А.** Подшипники скольжения [Текст] / С. А. Чернавский. – Л.: Машгиз, 1963. – 245 с.

63. **Шаровые шарниры и шарнирные соединения** [Электронный ресурс] / Подшипник.ру. – Режим доступа: http://www.podshipnik.ru/analyst/797/element_3281.html, свободный. (Дата обращения 23.01.2014).

64. **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.

65. **Каргин, А. А.** Анализ исследования шаровых шарниров в подвеске автомобиля [Текст] / А. А. Каргин, М. В. Косаров, А. А. Войнов // Пензинский государственный университет. – 2008. – № 4. – С.68-70.

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

67. **Денисов, А. С.** Особенности изнашивания агрегатов автомобилей и других машин в сложных климатических условиях / А. С Денисов, В. Н. Басков // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в АПК СНГ: мат. межгосударств. науч.-техн. семинара. – Саратов: СГТУ, 2002. – С. 128-131.

68. **Ахмадимов, Р.М.** Новый подход в конструировании шарового шарнира подвески автомобиля / Р.М. Ахмадимов, Н.М. Филькин // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – №4. – С.23 – 25.

69. **Михайловский, И.А.** Освоение производства и испытания шаровых пальцев передней подвески легковых автомобилей из стали 41Х1 / В.И. Артюхин, И.А. Михайловский // Мат. 65-й науч.-техн. конф. сб. докл. Т. 1. – Магнитогорск. МГТУ, 2007. – С. 23– 25.

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

71. **Элементы теории испытания и контроля технических систем.** Городецкий В. И. [и др.] / под ред. Р. М. Юсупова. – Л.: Энергия, 1978.–192 с.

72. **Гун И. Г.** Проведение испытаний шаровых шарниров передней подвески легковых автомобилей с целью определения эксплуатационного ресурса / И. Г. Гун, И. А. Михалевский, В. В. Лапчинский // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сб. докл. Шестой российск.научн.-технич. конференц. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – С.134–137.

73. **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.

74. **Пат. 2263889 Российская Федерация, МПК7, G01M 13/00.** Стенд для испытаний шаровых шарниров / И. А. Михайловский [и др.]; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество Научно-производственное объединение "БелМаг"; – № 2003137624/11; заявл. 29.12.2003; опубл. 10.11.2005, Бюл. №31. – 3 с.

75. **Пат. 2308011 Российская Федерация, МПК, G01M 7/06, G01M 17/04, F16C 11/06.** Стенд для испытаний шаровых опор / А. А. Войнов, А. А. Грабовский, И. И. Артемов.; заявитель и патентообладатель Пензенский Государственный Университет (ПГУ).; – № 2006115973/11; заявл. 10.05.2006; опубл. 10.10.2007, Бюл. №28. –3 с.

76. **Пат. 2360225 Российская Федерация, МПК, G01M 7/06, G01N 3/34.** Стенд ускоренных испытаний шаровых опор на отказ от ударной нагрузки и материала шаровых опор ударным воздействием / А. А. Войнов, И. А. Старцев, А. А. Смирнов.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский Государственный Университет" (ПГУ).; – № 2007125929/11; заявл. 09.07.2007; опубл. 27.06.2009, Бюл. №18. – 4 с.

77. **Раймпель, Й.** Шасси автомобиля [Текст] / Й. Раймпель // Пер. с нем. В. П. Агапова. – М.: Машиностроение, 1983. – 356 с.

78. **Звягин, А. А.** Автомобили ВАЗ: изнашивание и ремонт [Текст] / А. А. Звягин, М. А. Мотин, Б. В. Прохоров. – Л. Политехника, 1991. – 255 с.

79. **Разборка и сборка узлов подвески** [Электронный ресурс] / www.2114.ru. клуб любителей Ваз-2114. – Режим доступа: <http://www.2114.ru/content/view/317/109>, свободный. (Дата обращения 27.01.2014).
80. **Тебекин, М. Д.** Проблемы эксплуатации шаровых опор легковых автомобилей [Текст] / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2010.– №3(30).– С.42-45.
81. **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.
82. **Ротенберг, Р. В.** Подвеска автомобиля [Текст] / Р. В. Ротенберг. –М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
83. **Диваков, А.** «Спорим?» [Текст] / А. Диваков, П. Карин // Авторевю. – 2008. – № 19 (412). – С. 18–25.
84. **«Daewoo Nexia выпуска с 2008 г. Устройство, эксплуатация, обслуживание, ремонт»** / под. ред. А. Ревина. – М.: «За рулем», 2012.–272 с.
85. **Динамическое моделирование неисправностей кремосбивальной машины марки КС** [Электронный ресурс] / Вибродиагностика и цифровая обработка сигналов. – Режим доступа: <http://www.sig-nal.narod.ru/Dinamika5.htm>, свободный. (Дата обращения 14.10.2014).
86. **Тебекин М. Д.** Методика проведения стендовых экспериментов по определению технического состояния шаровых опор [Текст] / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – №2(45). – С.14-20.
87. **Лашко, А. Г.** Обоснование рациональных параметров вибрационного катка с пневмошинным рабочим органом для уплотнения грунтов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04. – Омск, 2012. – 179 с.
88. **Воскобойников Ю. Е.** Фильтрация сигналов и изображений: Фурье и Вейвлет алгоритмы / Ю. Е. Воскобойников, А. В. Гочаков, А. Б. Колкер. – Новосибирск: Темплан, 2010. – 195 с.
89. **Блейхут, Р.** Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов [Текст] / Р. Блейхут. – М.: Изд-во «Мир», 1989. – 448 с.
90. **Брейсуэлл, Р. Н.** Преобразование Фурье [Текст] / Р.Н. Брейсуэлл // В мире науки. – 1989. – №8. – С. 48–56.
91. **Голд, Б.** Цифровая обработка сигналов [Текст] / Б. Голд, Ч. Рейдер. Под ред. А. М. Трахтмана. – М.: Изд-во «Сов. радио», 1973. – 368 с.
92. **Гольденберг, Л. М.** Цифровая обработка сигналов [Текст] / Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк. – М.: Изд-во Радио и связь, 1985. – 312 с.

93. **MatCAD для студентов: Учебный практикум** / С. В. Алябьева, [и др.]. – Петрозаводск: ПетрГУ, – 2007. – 154 с.
94. **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.
95. **Отраслевой стандарт ОСТ 37.001.613-2002. Шарниры шаровые автотранспортных средств. Общие технические требования и методы испытаний.** - М.: ФГУП «НАМИ», 2002. – 230с.
96. **ГОСТ Р52433–2005. Шарниры шаровые.** – Введ. 28.12.2005. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 7 с.
97. **Колодочкин, М.** О пальцах не на пальцах [Текст] / М. Колодочкин // За рулем. – 2003. – № 2. – С. 24–27.
98. **Характеристики вибрации - Ограничение шума и вибрации трансформаторов и реакторов** [Электронный ресурс] / Электрические сети. – Режим доступа: <http://leg.co.ua/transformatory/teoriya/ogranichenie-shuma-i-vibracii-transformatorov-i-reaktorov-3.html>, свободный. (Дата обращения 28.01.2014).
99. **Виброускорение, виброскорость и виброперемещение** [Электронный ресурс] / ООО Производственно-внедренческая фирма «Вибро-Центр». – Режим доступа: <http://vibrocenter.ru/text01.htm>, свободный. (Дата обращения 28.01.2014).
100. **Смирнов, В. А.** Основы измерения вибрации [Электронный ресурс] / Вибродиагностика для начинающих и специалистов «ИНКОТЕС». Диагностика машин и механизмов. – Режим доступа: http://www.vibration.ru/osn_vibracii.shtml, свободный. (Дата обращения 28.01.2014).
101. **Переверзева, Е. Г.** Вибросмещение, виброскорость, виброускорение — что это? [Электронный ресурс] / НеПотеряйка. – Режим доступа: http://ielf.ucoz.ru/blog/vibrosmeshhenie_vibroskorost_vibrouskorenie_что_это/2012-06-22-241, свободный. (Дата обращения 29.01.2014).
102. **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 Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс (ГУ-УНПК).; – № 2011122131/11; заявл. 31.05.2011; опубл. 27.05.2013, Бюл. №15. – 5 с.
103. **Гидравлический расчет объемного гидропривода: Учебное пособие по дисциплине «Механика жидкости и газа, гидропневмопривод»** / Л. Е. Полякова [и др.]. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2002. – 20с.

104. **Демина, Е. Н.** Конспект лекций по дисциплине «Гидравлика, пневматика и термодинамика» / А. Н. Демина. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2009. – 79 с.
105. **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.
106. **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора-машиностроителя в 3 т. Т. 3. [Текст] / В. И. Анурьев // Под ред. В. Н. Жестковой – М.: Машиностроение, 2001. – 864 с.
107. **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора-машиностроителя в 3 т. Т. 2. [Текст] / В. И. Анурьев // Под ред. В. Н. Жестковой – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.
108. **Павленко, П. Д.** Простой способ повышения усталостной прочности фланцевых соединений [Текст] / П. Д. Павленко, Х. А. Фасхиев, В. К. Дурандин // Автомобильная промышленность, 1996. – №7. – С.26 – 27.
109. **ГОСТ ИСО 10816-1-97.** Контроль состояния машин по результатам измерений вибраций на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. – Введ. 01.07.1999. - Минск: Изд-во стандартиформ, 1999. - 12 с.
110. **ГОСТ ИСО 10817-1-2002.** Вибрация. Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации. – Введ. 30.05.2002. – М.: Изд-во стандартиформ, 1999. – 19 с.
111. **ГОСТ 16819-71.** Приборы виброизмерительные. Термины и определения. – Введ. 01.01.1972. – М.: Изд-во стандартиформ, 1972. – 8 с.
112. **ГОСТ 24347-80.** Вибрация. Обозначения и единицы величин. – Введ. 01.01.1981. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.
113. **ГОСТ 25051.3-83.** Установки испытательные вибрационные. - Введ. 01.07.1984. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 19 с.
114. **ГОСТ 30296-95.** Аппаратура общего назначения для определения основных параметров вибрационных процессов. Общие технические требования. - Введ. 01.01.1997. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 20 с.
115. **ГОСТ 30652-99.** Вибрация. Калибровка датчиков вибрации и удара. Часть 3. Вторичная вибрационная калибровка методом сличения. – Введ. 01.01.1997. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 20 с.
116. **ГОСТ ИСО 5347-0-95.** Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 0. Общие положения. – Введ. 01.06.1997. – Минск: Изд-во стандартов, 1997. - 32 с.
117. **ГОСТ ИСО 7626-1-94.** Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Основные положения. – Введ. 01.01.1997. – Минск: Изд-во стандартов, 1997. – 31 с.

118. **ГОСТ ИСО 7626-2-94.** Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Измерения, использующие одноточечное поступательное возбуждение присоединенным вибровозбудителем. - Введ. 01.01.1997. – Минск: Изд-во стандартов, 1997. – 31 с.

119. **ГОСТ ИСО 7626-5-99.** Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 5. Измерения, использующие ударное возбуждение возбудителем, не прикрепляемым к конструкции. - Введ. 01.01.2001. – Минск: Изд-во стандартов, 2000. – 20 с.

120. **Aumala, O.** Automatic Multivariate signal Analysis / O.Aumala, H. Ihalainen, H. Jokinen, K. Heinola // Proc. IMEKO TC7 Intern. Symp.on AIMaC'91, Kyoto, Japan: SICE. – 1991, P. 161– 172.

121. **Lang, G.** S&V Geometry 101 / George Fox Lang // Journal of Sound and Vibration. – 1999. – № 30(5). – P. 12–19.

122. **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. ГУ-УНПК.–№ 2014107594/11, заявл. 27.02.2014; опублик. 20.07.2015. – 6 с.

123. **Загудиллин, Р.** Multisim, Labview, Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств [Текст] / Р. Загудиллин. – М.: Изд-во Горячая линия - Телеком, – 2009. – 368 с.

124. **ГОСТ 8.207-76.** Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. – Введ. 01.01.1977. – М.: Изд-во стандартиформ, 2008. – 8 с.

125. **Вибростенды для диагностики подвески автомобилей** [Электронный ресурс] / Автомобильный интернет-журнал для профессионалов. – Режим доступа: <http://avtowithyou.ru/instrument-i-oborudovanie/vibrostandy-dlya-dagnostiki-podveski-avtomobilya>, свободный. (Дата обращения 04.02.2014).

126. **Вибростенды для диагностики подвески автомобиля** [Электронный ресурс] / Автошкола. – Режим доступа: <http://www.autoshcool.ru/5334-vibrostandy-dlya-dagnostiki-podveski-avtomobilya.html>, свободный. (Дата обращения 04.02.2014).

127. **Люфт-детектор (тестер проверки люфтов) DELUR** [Электронный ресурс] / ООО «АйТиМоторс». – Режим доступа: <http://www.itmotors.ru/oborudovanie/luft-detector-delux>, свободный. (Дата обращения 17.02.2014).

128. **Пат. 2176396 Российская Федерация, МПК, G01P 21/00, G01P15/09.** Способ дистанционного периодического контроля коэффициента

преобразования пьезоэлектрического акселерометра / М. И. Субботин.; заявитель и патентообладатель научно-производственное объединение измерительной техники.; – № 2000125060/28; заявл .05.10.2000; опубл.27.11.2001.–3с.

129. **Люфт - детекторы подвески** [Электронный ресурс] / АКСТО - ЧП АвтоКомплектация Инструмент, оборудование для СТО. – Режим доступа: <http://carkits.com.ua/luft-detektoru.html>, свободный. (Дата обращения 17.02.2014).

130. **Сервисное обслуживание, данные по нормо-часам** [Электронный ресурс] / 2013 ŠKODA AUTO Россия. – Режим доступа: <http://www.griffin-auto.ru/pub.html?docid=1096>, свободный. (Дата обращения 17.02.2014).

131. **Диагностика Honda Civic** [Электронный ресурс] / 2008–2014 ТехЦентр JapAuto. – Режим доступа: http://japauto.ru/models/honda/honda_civic/diagnostika_honda_civic, свободный. (Дата обращения 17.02.2014).

132. **ТО для Daewoo Nexia** [Электронный ресурс] / 2012 Сандра Моторс. Ремонт Daewoo и Chevrolet. – Режим доступа: <http://www.sandra-motors.ru/tehcenter/daewoo/nexia>, свободный. (Дата обращения 17.02.2014).

133. **Ремонт Daewoo Nexia** [Электронный ресурс] / Техцентр КАРТЕКС Ремонт и обслуживание автомобилей: OPEL, DAEWOO, CHEVROLET. – Режим доступа: <http://www.cartex.ru/remont/daewoo/daewoo-nexia>, Свободный (Дата обращения 17.02.2014).

134. **Устранение трудно диагностируемого стука Golf 5** [Электронный ресурс] / [Форум Volkswagen Technical Site](#). – Режим доступа: <http://vwts.ru/forum/index.php?showtopic=110483>, свободный (Дата обращения 17.02.2014).

135. **Артемова Е. Н.** Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Организация производства на предприятиях отрасли» / Е. Н. Артемова. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2006. – 20 с.

136. **Светкина В. И.** Экономика пищевой промышленности. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Экономика промышленности» / В. И.Светкина, Г. М. Зомитева. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2000.–75 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А - Пример математического моделирования изменения технического состояния шарового шарнира в программной среде Mathcad

Mathcad - [безразмерн (синусоидальный).2.mcd]

Файл Правка Вид Вставить Формат Инструменты Символика Окно Помощь

Normal Arial 10 B I U

Справки Go

$\Delta := 0.06$ $nt := 3 \cdot \pi \cdot 2$ $N := 1000$ $y0 := 0.01$ $t := 1$

$g1 := 8000$ $g2 := 10$ $e1 := 100$ $e2 := 0.1$ $\eta := 0.75$ $vk := 0.05$ $tk := \frac{y0}{vk}$

$x := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ $m := 0.02$

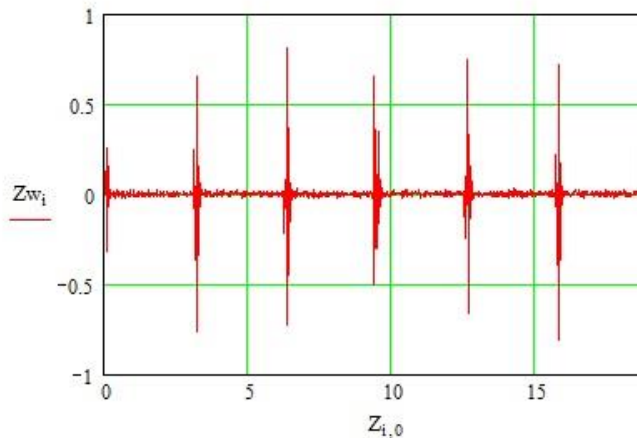
$$D(t, x) := \left[\frac{-e1 \cdot x_1}{\eta} + \frac{-g1 \cdot x_0}{\eta^2} + \left[\frac{e2 \cdot (\cos(t) - x_1)}{\eta} + \frac{g2 \cdot (\sin(t) - x_0)}{\eta^2} \right] \cdot \text{if}(|x_0 - \sin(t)| < \Delta, 0, 1) + md(m) \right]$$

$Z := \text{rkfixed}(x, 0, nt, N, D)$ $i := 0..N$

$Zw1_i := \frac{-e1 \cdot Z_{i,2}}{\eta} + \frac{-g1 \cdot Z_{i,1}}{\eta^2}$

$Zw2_i := \left[\frac{-e2 \cdot (Z_{i,2} - \cos(Z_{i,0}))}{\eta} + \frac{-g2 \cdot (Z_{i,1} - \sin(Z_{i,0}))}{\eta^2} \right] \cdot \text{if}(|Z_{i,1} - \sin(Z_{i,0})| < \Delta, 0, 1)$

$Zw_i := Zw1_i + Zw2_i + md(m)$



Приложение Б - Патенты

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 483 287** ⁽¹³⁾ **C2**(51) МПК
G01M 17/04 (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2011122131/11, 31.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.05.2011

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 31.05.2011

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2012 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 27.05.2013 Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 37215 U1, 10.04.2004. CN 1372132 A,
02.10.2002. RU 2366919 C1, 10.09.2009. JP
3048131 A, 01.03.1991.

Адрес для переписки:
302020, г.Орел, Наугорское ш., 29, ФГОУ
ВПО "Госуниверситет - УНПК"

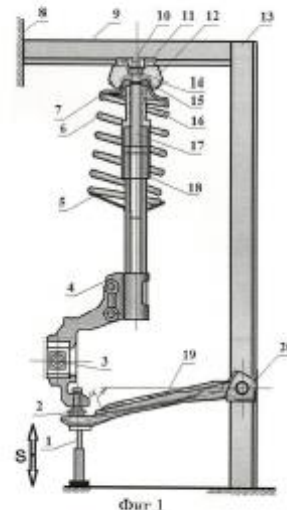
(72) Автор(ы):
Тебекин Максим Дмитриевич (RU),
Катунин Андрей Александрович (RU),
Новиков Александр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования -
"Государственный университет - учебно-
научно-производственный комплекс (ФГОУ
ВПО "Госуниверситет - УНПК")" (RU)

(54) СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к испытательной технике. Стенд для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей содержит станину, электродвигатель, блок управления, поворотный кулак, поперечный рычаг, пружину, гидравлический привод с горизонтальным гидроцилиндром, направляющий элемент с возможностью поворота цилиндра относительно штока, клапан регулирования потока и вертикальный гидроцилиндр. Достигается упрощение конструкции, уменьшение времени испытаний и размеров, максимальное приближение испытаний к реальным условиям эксплуатации. 3 ил.



RU 2 4 8 3 2 8 7 C 2

RU 2 4 8 3 2 8 7 C 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 556 814** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК

G01M 17/00 (2006.01)

G01M 7/06 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014107594/11, 27.02.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.02.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.02.2014

(45) Опубликовано: 20.07.2015 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2264564 C2, 20.11.2005. SU 662842
A, 17.05.1979. FR 2833321 A1, 13.06.2003. CN
202511963 U, 31.10.2012

Адрес для переписки:

302020, г.Орел, Науторское ш., 29, ФГБОУ ВПО
"Госуниверситет-УНПК"

(72) Автор(ы):

Тобкин Максим Дмитриевич (RU),
Катунин Андрей Александрович (RU),
Новиков Александр Николаевич (RU),
Майоров Максим Валерьевич (RU),
Мишин Владислав Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Государственный университет-учебно-
научно-производственный комплекс"
(ФГБОУ ВПО "Госуниверситет-УНПК")
(RU)**(54) СПОСОБ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОСЕВОГО ЗАЗОРА В ШАРОВОМ ШАРНИРЕ АВТОМОБИЛЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерительной техники, к диагностированию автомобилей. Способ диагностирования величины осевого зазора в шаровом шарнире автомобиля достигается за счет использования двух вибродатчиков. Первый вибродатчик фиксирует вибрации, возникающие непосредственно в диагностируемом сопряжении головки шарового шарнира и полимерного вкладыша. Второй вибродатчик, установленный на рычаге подвески сопряженным с диагностируемым шаровым шарниром на

расстоянии 10-15 см от первого вибродатчика, фиксирует вибрации в рычаге подвески. Их сравнительный анализ позволяет более точно выявить гармоники и частотные составляющие сигналов, характерные для зазора в сопряжении шарового шарнира. Достигается упрощение процесса диагностирования шаровых шарниров автомобилей, а также получение информации при диагностировании, позволяющей судить о величине зазора в шаровом шарнире и о его остаточном ресурсе. 4 ил.

RU 2 5 5 6 8 1 4 C 1

RU 2 5 5 6 8 1 4 C 1

Приложение В - Результаты лабораторного стендового экспериментального исследования

1 - Результаты экспериментов

Таблица 1 – Данные по испытательному образцу №1, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	18	14	16	11	43
2	16	13	17	12	42
3	17	13	14	11	44
4	14	11	18	14	55
5	18	15	15	13	51
6	15	12	17	13	43
7	17	14	18	11	42
8	18	15	17	15	43
9	17	13	16	12	42
10	16	13	14	14	43
11	14	11	17	15	42
12	17	13	15	13	43
среднее	16	13	15	12	44
2.1	13	11	13	10	43
2	13	12	13	9	42
3	11	10	14	12	44
4	15	12	15	12	55
5	12	10	12	10	51
6	14	8	14	8	43
7	15	12	15	12	42
8	13	9	13	9	43
9	13	8	13	8	42
10	11	7	11	7	43
11	12	10	12	10	42
12	12	10	12	10	43
среднее	13	10	13	10	44

Таблица 2 – Данные по испытательному образцу №2, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	80	80	90	50	42
2	75	40	70	30	43
3	65	45	40	20	42
4	75	40	75	55	44
5	80	40	35	30	55
6	80	40	50	30	51
7	90	60	105	50	43
8	75	50	50	30	42
9	55	60	95	80	43
10	75	70	65	55	42
11	75	60	70	60	43
12	60	55	75	35	43
среднее	75	55	60	55	43
2.1	15	12	2	2	42
2	18	16	2	2	43
3	10	10	5	2	42
4	18	16	5	2	44
5	18	15	5	2	55
6	21	18	19	15	51
7	18	16	16	14	43
8	20	15	16	12	42
9	15	12	12	8	43
10	18	17	14	12	42
11	16	14	15	12	43
12	20	16	10	5	43
среднее	18	15	10	8	43

Таблица 3 – Данные по испытательному образцу №3, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	260	200	210	70	35
2	290	150	250	170	36
3	240	160	250	170	34
4	140	100	150	130	35
5	240	150	180	100	35
6	230	120	120	70	35
7	150	120	140	130	35
8	160	110	130	120	33
9	120	110	210	130	34
10	160	100	250	160	32
11	120	100	170	140	30
12	160	100	160	120	33
среднее	210	110	170	130	33
2.1	25	18	15	12	35
2	23	15	18	16	36
3	22	16	10	10	34
4	26	18	18	16	35
5	27	16	18	15	35
6	20	18	21	18	35
7	18	15	18	16	35
8	16	14	20	15	33
9	22	17	15	12	34
10	23	18	18	17	32
11	25	19	16	14	30
12	18	18	20	16	33
среднее	24	18	18	15	33

Таблица 4 – Данные по испытательному образцу №4, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	300	150	230	100	43
2	340	140	350	220	44
3	260	150	100	80	42
4	350	200	240	210	43
5	350	170	290	210	44
6	340	180	150	140	44
7	230	150	150	130	43
8	300	100	350	270	42
9	350	210	100	90	43
10	350	200	120	100	43
11	250	200	150	100	42
12	350	300	350	300	44
среднее	310	180	250	160	43
2.1	80	70	90	70	43
2	80	70	70	50	44
3	120	80	120	110	42
4	70	50	70	50	43
5	90	70	70	50	44
6	60	50	90	70	44
7	70	60	60	40	43
8	50	40	70	50	42
9	70	50	70	50	43
10	50	40	60	40	43
11	90	70	70	50	42
12	70	50	60	40	44
среднее	75	60	75	65	43

Таблица 5 – Данные по испытательному образцу №5, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	450	200	350	210	42
2	550	250	300	150	43
3	370	170	550	250	42
4	600	200	400	300	44
5	500	200	300	100	43
6	550	300	550	200	44
7	550	500	400	300	42
8	450	200	200	100	42
9	500	400	300	200	43
10	350	300	200	100	44
11	550	300	550	200	42
12	500	200	300	200	42
среднее	480	270	460	210	43
2.1	110	90	120	100	42
2	120	100	130	90	43
3	100	80	140	80	42
4	150	110	110	80	44
5	140	100	170	90	43
6	120	100	150	130	44
7	130	90	130	120	42
8	140	80	110	90	42
9	110	80	120	100	43
10	170	90	100	80	44
11	150	130	150	110	42
12	130	120	140	100	42
среднее	140	100	140	100	43

Таблица 6 – Данные по испытательному образцу №6, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	400	200	200	150	42
2	450	200	350	200	43
3	700	500	500	400	42
4	400	200	200	150	44
5	600	550	400	100	43
6	650	350	200	150	44
7	700	580	700	400	42
8	450	400	700	600	42
9	400	300	400	300	43
10	500	250	350	250	44
11	600	400	600	250	42
12	650	600	650	300	42
среднее	550	380	450	310	43
2.1	140	110	130	90	42
2	150	90	120	80	43
3	170	120	100	70	42
4	150	140	100	60	44
5	120	90	110	60	43
6	150	80	100	60	44
7	160	100	140	75	42
8	180	110	130	100	42
9	170	110	120	90	43
10	150	120	150	100	44
11	140	80	120	80	42
12	150	90	110	90	42
среднее	160	110	140	80	43

Таблица 7 – Данные по испытательному образцу №7, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	750	500	250	180	31
2	600	200	500	200	32
3	750	200	800	350	30
4	400	350	600	350	32
5	850	400	550	350	31
6	500	200	780	200	32
7	800	300	300	200	32
8	400	250	300	150	31
9	850	600	850	300	30
10	700	200	580	400	32
11	850	550	800	450	32
12	850	400	850	300	31
среднее	750	400	650	280	31
2.1	180	170	230	150	31
2	220	180	150	140	32
3	150	110	180	150	30
4	190	150	200	150	32
5	190	150	220	180	31
6	200	140	200	130	32
7	190	130	190	130	32
8	200	140	190	140	31
9	200	150	200	140	30
10	190	140	250	160	32
11	180	130	240	140	32
12	190	120	200	140	31
среднее	190	130	200	140	31

Таблица 8 – Данные по испытательному образцу №8, mV

фаза	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
1.1	750	250	1200	750	31
2	1100	500	500	400	32
3	750	500	1200	750	30
4	1300	800	1200	300	32
5	1100	450	900	400	31
6	1200	500	1200	750	32
7	1200	750	1000	750	32
8	1300	500	1200	700	31
9	800	400	500	200	30
10	1200	500	1000	400	32
11	1000	300	700	300	32
12	800	350	750	200	31
среднее	950	550	900	500	31
2.1	160	170	230	150	31
2	220	180	170	140	32
3	150	110	180	150	30
4	190	150	200	150	32
5	190	150	220	180	31
6	210	140	200	130	32
7	190	130	190	130	32
8	200	140	190	140	31
9	200	150	200	140	30
10	190	140	250	160	32
11	210	130	240	140	32
12	190	120	200	140	31
среднее	200	130	200	140	31

Таблица 9 - Среднее арифметическое значение амплитуд виброускорения для всех образцов, mV

номер образца, номер фазы	величина осевого зазора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	3 - Среднее значение верхней амплитуды	4 - Нижнее максимальное значение амплитуды	6 - Среднее значение нижней амплитуды	9 - Период, мсек
1. фаза 1	0,01	16	13	15	12	44
1. фаза 2		13	10	13	10	44
2. фаза 1	0,12	75	55	60	55	43
2. фаза 2		18	15	10	8	43
3. фаза 1	0,24	210	110	170	130	33
3. фаза 2		24	18	18	15	33
4. фаза 1	0,39	310	180	250	160	43
4. фаза 2		75	60	75	65	43
5. фаза 1	0,54	480	270	460	210	43
5. фаза 2		140	100	140	100	43
6. фаза 1	0,68	550	380	450	310	43
6. фаза 2		160	110	140	80	43
7. фаза 1	0,78	750	400	650	280	31
7. фаза 2		190	130	200	140	31
8. фаза 1	0,89	950	550	900	500	31
8. фаза 2		200	130	200	140	31

2 - Проверка результатов стендовых лабораторных экспериментальных исследований по критерию достоверности.

Таблица 10 - Значения виброускорения серии из 8 групп экспериментов, м/с² и их среднее арифметическое исправленное значение

№ эксперимента	Величина осевого зазора, мм							
	0,01	0,12	0,24	0,39	0,54	0,68	0,78	0,89
1	1,4	6,8	21,5	30,5	47,3	54,5	77,1	94,8
2	1,2	7,2	20,6	30,8	47,5	54,8	77,7	94,6
3	1,7	8,6	20,5	31,2	48,5	55	74,5	96,2
4	1,6	8,2	20,8	31,5	48,5	55	74,6	96,1
5	1,8	7,6	22,1	31,0	49,4	55,6	74,5	95,2
6	1,7	7,1	21,8	31,7	47,4	55,5	75,8	94,2
7	1,6	6,6	21,2	30,5	47,2	55	74,2	95,2
8	1,6	6,8	21,1	31,2	48,0	55	75,1	94,5
9	1,7	7,5	20,8	31,4	48,4	54,6	75,5	95,1
Средн. арифмитич. исправленного рез.: \bar{x}	1,6	7,5	21,0	31,0	48,0	55,0	75,0	95,0

Таблица 11 - Статистическая обработка групп результатов экспериментов

Параметр	Величина осевого зазора, мм							
	0,01	0,12	0,24	0,39	0,54	0,68	0,78	0,89
Средн. арифмитич. исправленного рез.: \bar{x}	1,6	7,5	21,0	31,0	48,0	55,0	75,0	95,0
Среднее квадратическое отклонение: S	0,170	0,697	0,575	0,436	0,713	0,364	1,460	0,692
$\pm 3S$	0,51	2,09	1,725	1,308	2,139	1,092	4,383	2,076
грубые погрешности: $(x_i - x)$	0,4	1,1	0,8	0,7	1,4	0,6	2,7	1,2
оценка СКО рез. измер. $S(\bar{x})$	0,057	0,178	0,192	0,145	0,161	0,121	0,487	0,141
Доверительные границы: ε	0,131	0,411	0,443	0,334	0,371	0,279	1,123	0,325

Приложение Г - Результаты экспериментального исследования в условиях автосервисного предприятия

1 - Результаты экспериментов

Таблица 12 – Данные по испытательному образцу №1, mV

фаза/точка экватора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
фаза 1 и 2					
1	12	9	14	6	72
2	10	8	12	8	71
3	12	9	10	9	70
4	12	9	14	10	72
5	10	8	12	8	72
6	10	9	12	8	74
7	12	8	10	6	75
8	10	9	10	6	74
9	10	8	10	6	72
10	12	8	12	8	75
11	12	9	12	6	75
12	12	8	14	10	74
среднее	11	9	11	8	73
точка экватора					
1	12	9	14	6	72
2	10	8	12	8	71
3	12	9	10	9	70
4	12	9	14	10	72
5	10	8	12	8	72
6	10	9	12	8	74
7	12	8	10	6	75
8	10	9	10	6	74
9	10	8	10	6	72
10	12	8	12	8	75
11	12	9	12	6	75
12	12	8	14	10	74
среднее	11	9	11	8	73

Таблица 13 – Данные по испытательному образцу №2, mV

фаза/точка экватора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
фаза 1 и 2					
1.1	35	30	35	30	72
2	27	20	37	25	71
3	34	22	32	20	70
4	22	15	25	20	72
5	24	17	34	22	72
6	24	18	27	22	74
7	27	20	18	10	75
8	20	15	22	15	74
9	20	15	20	15	72
10	25	15	20	15	75
11	20	20	18	14	75
12	20	17	20	15	74
среднее	26	23	28	21	73
точка экватора					
2.1	12	9	14	6	72
2	10	8	12	8	71
3	12	9	10	9	70
4	12	9	14	10	72
5	10	8	12	8	72
6	10	9	12	8	74
7	12	8	10	6	75
8	10	9	10	6	74
9	10	8	10	6	72
10	12	8	12	8	75
11	12	9	12	6	75
12	12	8	14	10	74
среднее	11	9	11	8	73

Таблица 14 – Данные по испытательному образцу №3, mV

фаза/точка экватора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
фаза 1 и 2					
1.1	50	40	38	27	72
2	30	15	52	42	71
3	40	27	44	25	70
4	37	30	37	22	72
5	38	30	40	25	72
6	25	15	42	35	74
7	30	15	48	42	75
8	34	18	30	20	74
9	40	25	39	20	72
10	30	20	30	18	75
11	35	18	28	15	75
12	32	25	25	12	74
среднее	36	25	37	25	73
точка экватора					
2.1	15	10	25	18	72
2	22	15	20	15	71
3	22	14	20	16	70
4	12	10	20	14	72
5	20	12	15	11	72
6	12	10	20	14	74
7	22	15	20	15	75
8	15	14	21	15	74
9	20	10	20	16	72
10	22	10	15	11	75
11	10	12	25	18	75
12	20	11	15	10	74
среднее	17	12	18	14	73

Таблица 15 – Данные по испытательному образцу №4, mV

фаза/точка экватора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
фаза 1 и 2					
1.1	35	20	50	27	72
2	37	22	40	20	71
3	50	32	60	24	70
4	52	30	30	15	72
5	38	18	38	16	72
6	30	15	38	15	74
7	30	20	50	22	75
8	55	25	55	25	74
9	42	20	42	20	72
10	60	30	40	20	75
11	42	22	38	18	75
12	60	20	42	24	74
среднее	49	25	46	23	73
точка экватора					
2.1	18	11	23	15	72
2	22	16	20	15	71
3	22	14	21	16	70
4	16	11	20	14	72
5	21	12	15	12	72
6	12	10	20	14	74
7	22	13	22	15	75
8	17	14	20	15	74
9	20	10	20	14	72
10	20	10	18	11	75
11	12	11	21	18	75
12	21	10	15	12	74
среднее	18	12	19	14	73

Таблица 16 – Данные по испытательному образцу №5, mV

фаза/точка экватора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
фаза 1 и 2					
1.1	110	75	120	80	55
2	118	80	130	90	54
3	117	75	90	60	55
4	135	100	95	60	56
5	125	100	140	120	55
6	100	75	120	100	53
7	110	82	100	90	54
8	120	95	110	92	54
9	100	70	90	56	53
10	110	75	120	99	55
11	120	85	125	90	55
12	80	72	124	85	56
среднее	119	93	118	96	55
точка экватора					
2.1	25	18	24	15	55
2	35	20	31	20	54
3	36	21	35	24	55
4	42	25	41	21	56
5	40	20	44	22	55
6	42	18	42	18	53
7	31	12	34	12	54
8	25	14	21	15	54
9	24	15	24	14	53
10	35	22	35	22	55
11	36	25	31	21	55
12	41	24	40	24	56
среднее	34	18	31	17	55

Таблица 17 – Данные по испытательному образцу №6, mV

фаза/точка экватора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	2 - Среднее значение верхней амплитуды	3 - Нижнее максимальное значение амплитуды	4 - Среднее значение нижней амплитуды	5 - Период, мсек
фаза 1 и 2					
1.1	230	150	220	150	40
2	240	140	210	151	41
3	200	160	170	150	39
4	170	140	180	160	42
5	210	140	210	150	40
6	220	160	220	140	40
7	170	120	190	150	42
8	170	120	200	145	41
9	210	190	180	150	41
10	180	140	170	160	38
11	190	120	190	150	39
12	200	160	200	140	38
среднее	208	165	201	150	41
точка экватора					
2.1	36	21	51	21	40
2	37	22	40	20	41
3	50	32	51	24	39
4	54	30	30	18	42
5	38	14	38	16	40
6	32	15	38	15	40
7	30	20	45	22	42
8	51	24	48	20	41
9	44	20	42	21	41
10	51	25	41	20	38
11	40	22	34	14	39
12	50	21	42	24	38
среднее	44	24	42	22	41

Таблица 18 - Среднее арифметическое значение амплитуд виброускорения для всех образцов, mV

номер образца, фазы/точка экватора	величина осевого зазора	1 - Верхнее максимальное значение амплитуды	3 - Среднее значение верхней амплитуды	4 - Нижнее максимальное значение амплитуды	6 - Среднее значение нижней амплитуды	9 - Период, мсек
1.фаза 1 и 2	0,01	11	9	11	8	73
1. точка экватора		11	9	11	8	73
2.фаза 1 и 2	0,28	26	23	28	21	73
2. точка экватора		11	9	11	8	73
3. фаза 1и 2	0,46	36	25	37	25	73
3. точка экватора		17	12	18	14	73
4.фаза 1 и 2	0,54	50	25	46	23	73
4. точка экватора		18	12	19	14	73
5.фаза 1 и 2	0,74	119	93	118	96	55
5. точка экватора		34	18	31	17	55
6.фаза 1 и 2	0,84	208	165	201	150	41
6. точка экватора		44	24	42	22	41

2 - Проверка результатов экспериментальных исследований в условиях автосервисного предприятия по критерию достоверности.

Таблица 19 - Значения виброускорения серии из 8 экспериментов и их среднее арифметическое исправленное значение

№ эксперимента	Величина осевого зазора, мм							
	0,01	0,28	0,35	0,46	0,54	0,64	0,74	0,84
1	0,8	2,4	3,0	3,8	4,4	7,8	11,9	20,4
2	0,9	2,4	3,5	3,4	5,5	7,9	11,5	20,5
3	0,9	2,5	2,7	3,5	5,4	8,5	11,4	20,9
4	1,1	2,3	2,9	3,5	5,2	8,4	11,6	20,8
5	1,2	2,6	3,4	3,6	5,1	8,2	11,8	21,1
6	1,3	2,7	3,5	3,6	5,4	8,3	12,3	21,2
7	1,0	2,8	2,7	3,7	4,9	8,4	12,4	20,6
8	1,1	2,6	2,9	3,5	4,8	7,7	12,1	20,7
9	0,9	2,7	3,1	3,4	4,7	7,9	12,0	21,3
Средн. арифмитич. исправленного рез.: \bar{x}	1,1	2,6	3,1	3,6	5,0	8,2	11,9	20,8

Таблица 20 - Статистическая обработка групп результатов экспериментов

Параметр	Величина осевого зазора, мм							
	0,01	0,28	0,35	0,46	0,54	0,64	0,74	0,84
Средн. арифмитич. исправленного рез.: \bar{x}	1,1	2,6	3,1	3,6	5,0	8,2	11,9	20,8
Среднее квадратическое отклонение: S	0,194	0,187	0,320	0,141	0,374	0,310	0,348	0,318
$\pm 3S$	0,582	0,561	0,96	0,423	1,122	0,93	1,044	0,954
грубые погрешности: $(x_i - x)$	0,3	0,3	0,4	0,2	0,6	0,5	0,5	0,5
оценка СКО рез. измер. $S(\bar{x})$	0,06	0,062	0,107	0,047	0,125	0,103	0,116	0,106
Доверительные границы: ε	0,122	0,126	0,218	0,096	0,255	0,21	0,236	0,216

**Приложение Д - Акты о внедрении в производство вибрационного способа
определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах**



ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание»

№ 3 от «17» апреля 2014 г.
вх. № 3 от «17» апреля 2014 г.

**Акт внедрения
научно-исследовательской работы
Тебекина Максима Дмитриевича**

Настоящий акт составлен в том, что на основании исследований, проведенных автором, получены следующие результаты:

1. Разработана методика определения технического состояния шаровых шарниров, в условиях автосервисного предприятия по результатам анализа экспериментальных данных, учитывающих величину виброакустических сигналов от величины осевого зазора. При этом погрешность данной методики составляет не более 10%.

4. Проведен анализ экспериментов, который показал, что разработанная методика имеет погрешность измерения величины осевого зазора в шаровых шарнирах в условиях производства не более 9%. При этом механический способ имеет погрешность измерения величины осевого зазора от 1 до 30% (в пределах величины зазора от 0,1 до 0,7 мм) которая пропорциональна величине зазора.

Предложенная автором методика определения технического состояния шаровых шарниров используется при диагностике подвески автомобилей, в частности для определения величины осевого зазора в шаровых шарнирах и позволяет повысить точность измерения и сократить трудоемкость работ.

Генеральный директор

ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание»

Ассистент кафедры «Сервис и ремонт машин»



В.А. Мавлюбердинов

М. Д. Тебекин

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор ФГБОУ ВПО
«Госуниверситет - УНПК»
В.В. Светкин
« 23 » июня 2015 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Материалы научно-исследовательской работы ассистента кафедры «Сервис и ремонт машин» Тебекина М. Д. «Повышение эффективности определения технического состояния шаровых шарниров подвески легкового автомобиля» используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК» при изучении дисциплины «Техническая эксплуатация автомобилей» (3 курс дневного отделения направления подготовки бакалавров 23.03.03 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профиль – «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Автомобильный сервис»).

Заведующий кафедрой
«Сервис и ремонт машин»
д.т.н., профессор



А.Н. Новиков

Ассистент
кафедры «Сервис и ремонт машин»



М. Д. Тебекин