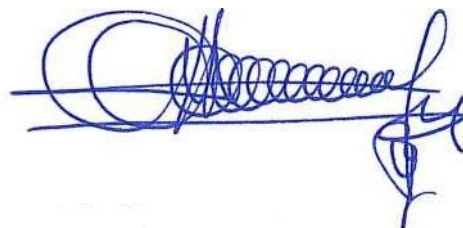


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



СЕМЫНИН МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО
СРЕДСТВА В АПК**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Научный руководитель:

д.т.н., профессор М.Ю. Костенко

Рязань 2024

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ | 8 |
| 1.1 Условия эксплуатации транспортных средств и их влияние на работоспособность рулевых механизмов | 8 |
| 1.2 Анализ факторов, влияющих на работу рулевого управления | 15 |
| 1.3 Анализ выполненных исследований по совершенствованию эксплуатации рулевого управления транспортных средств | 23 |
| 1.4 Цель и задачи исследования | 26 |
| Выводы по главе 1 | 26 |
| ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ НА РУЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ | 28 |
| 2.1 Совершенствование эксплуатации рулевого управления | 28 |
| 2.2 Теоретические исследования взаимодействия колеса с препятствиями | 29 |
| 2.3 Исследования усилий взаимодействия колеса с опорной поверхностью при различных углах поворота и наклона рельефа | 42 |
| 2.4 Моделирование нагруженности рулевого пальца при движении по внутрихозяйственным дорогам | 46 |
| Выводы по главе 2 | 49 |
| ГЛАВА 3. ПРОГРАММА, МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 51 |
| 3.1 Программа экспериментальных исследований | 51 |
| 3.2 Методики и результаты экспериментальных исследований по определению силового взаимодействия элементов рулевого управления | 51 |

| | |
|---|-----|
| 3.3 Методика и результаты экспериментальных исследований суммарного люфта в рулевом управлении | 59 |
| 3.4 Методика и результаты экспериментальных исследований углов установки управляемых колес | 64 |
| 3.5 Методика и результаты экспериментальных исследований дисбаланса управляемых колес | 69 |
| 3.6 Методики и результаты экспериментальных исследований движения автомобилей по внутрихозяйственным дорогам | 72 |
| 3.7 Разработка алгоритма совершенствования технической эксплуатации рулевого управления автомобилей | 88 |
| Выводы по главе 3 | 91 |
| ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРЕДЛОЖЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ | 94 |
| 4.1 Организационные основы эксплуатации транспортных средств | 94 |
| 4.2 Техничко-экономический эффект результатов исследований | 95 |
| 4.3 Техничко-экономический эффект от совершенствования эксплуатации рулевого управления автомобилей | 99 |
| Выводы по главе 4 | 103 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 104 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 105 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 126 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Для развития сельского хозяйства реализуется Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (в первой редакции – на 2013-2020 годы, в настоящее время продлена до 2025 года).

Повышение эффективности эксплуатации автомобильного парка может быть достигнуто комплексом АПК организационных и технических мероприятий.

Передвижение транспортных средств в полевых условиях при проведении работ практически всегда является криволинейным с постоянно меняющейся кривизной. При этом движение транспорта сопровождается непрерывным воздействием внешней среды на рулевое управление. Таким образом, для обеспечения работы рулевого управления транспортного средства, необходимо совершенствовать его техническую эксплуатацию.

Степень разработанности темы. Вопросами совершенствования технического обслуживания и ремонта в сельскохозяйственном производстве посвящены работы А.Р. Асояна, И.Г. Голубева, А.С. Денисова, В.А. Денисова, О.Н. Дидманидзе, М.Н. Ерохина, Ю.В. Катаева, Г.Д. Кокорева, М.Н. Костомахина, И.Н. Кравченко, Е.В. Пухова, Г.К. Рембаловича, Р.Ю. Соловьева, И.А. Успенского, В.Ф. Федоренко, В.И. Черноиванова, А.В. Шемякина, И.А. Юхина и других авторов, а также ряд зарубежных исследователей: Guerero, G., Oubahdou, Y., Moreno, G., Song, W., Yao, Z. W., и др.

Совершенствование эксплуатации транспортных средств должно проходить комплексно с учетом реальных условий движения, а также способствовать безубыточной, конкурентоспособной транспортировке сельскохозяйственной продукции.

Цель исследования – совершенствование эксплуатации рулевого управления транспортных средств в АПК.

В соответствии с поставленной целью были разработаны задачи исследований:

1. Провести анализ факторов, влияющих на эксплуатацию рулевого механизма при эксплуатации транспортных средств в АПК.
2. Исследовать влияние условий эксплуатации автомобиля на элементы рулевого управления.
3. Оценить условия эксплуатации автомобилей в АПК и предложить мероприятия по совершенствованию диагностирования и технического обслуживания рулевых механизмов.
4. Рассчитать технико-экономический эффект предложенных мероприятий.

Объект исследований: эксплуатация рулевого управления автомобилей в АПК.

Предмет исследований: процесс эксплуатации рулевого управления автомобилей при передвижении по внутрихозяйственным дорогам.

Научная новизна исследования:

– аналитически обоснована зависимость изменения скорости поворотного рычага от зазора в шарнире рулевого управления автомобилей при взаимодействии колеса с препятствиями;

– предложен алгоритм диагностирования рулевого управления автомобиля при передвижении по внутрихозяйственным дорогам.

Теоретическая значимость работы состоит в получении аналитической зависимости взаимодействия колеса с опорной поверхностью при различных углах поворота и наклона рельефа.

Практическая значимость работы заключается:

- определены количественные показатели взаимодействия элементов рулевого управления автомобилей при проезде колеса препятствия;

- предложен алгоритм диагностирования рулевого управления автомобиля в АПК;

- определена рациональная периодичность диагностирования и технического обслуживания рулевого управления в условиях конкретного предприятия.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились с использованием законов механики, математики, сопротивления материалов. При исследованиях использовались общепринятые методики и сертифицированные приборы. Обработку результатов исследований осуществляли методами математической статистики. Применялись следующие программы Компас 3-D, Excel, MathCAD, SolidWorks и Statistica.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретические исследования влияния различных условий эксплуатации автомобиля на нагруженность элементов рулевого управления;
- алгоритм диагностирования рулевого управления;
- технико-экономический эффект предложенных мероприятий.

Достоверность результатов исследований. Выводы, полученные в результате анализа результатов, являются итогами теоретических и экспериментальных исследований. Сходимость теоретических и экспериментальных исследований составляет 95%.

Реализация результатов исследований. Производственные исследования эксплуатации элементов рулевого управления проводились на автомобилях семейства УАЗ. Результаты исследований внедрены в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в формулировании цели, разработке теоретических предпосылок совершенствования эксплуатации рулевого управления, проведении экспериментальных исследований диагностирования и технического обслуживания рулевого управления автомобилями в АПК. Автор ставил задачи исследований, обрабатывал результаты исследований, интерпретировал их, писал статьи и формулировал выводы.

Апробация работы. Основные положения исследований диссертации обсуждены на всероссийских и международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева., ИГСХА г. Иваново, Алтайский государственный аграрный университет г. Барнаул.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 6 научных работах, из них 2 статьи в источниках, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ. Общий объем публикаций составил 2,75 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,95 п.л.

Структура и объем работы. В целом диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения (общих выводов), списка литературы из 132 наименований, приложения, изложена на 132 страницах, включает 50 рисунков и 11 таблиц.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Условия эксплуатации транспортных средств и их влияние на работоспособность рулевых механизмов

Развитие сельского хозяйства требует совершенствование транспортного обеспечения для перевозки людей и сельскохозяйственных грузов в настоящее время используются трактора и автомобили повышенной грузоподъемности. «Транспортные средства повышенной проходимости до 3,5 тонн являются наиболее перспективным транспортным средством и составляет около 21% от всех грузовых автомобилей, для транспортировки грузов в сельском хозяйстве. Удельный вес автомобильного транспорта в перевозках составляет 73 – 78 %, а внутрихозяйственных перевозках от 40 до 50 % от общего объема перевозимых грузов в сельском хозяйстве. За 2023 год в РФ выпуск грузовиков увеличился до 167,6 тысячи единиц, что на 19,3% выше чем в 2022 году.» [84, 86].

В сельском хозяйстве используются универсальные транспортные средства, предназначенные для дорог общего назначения. В период полевых работ большинство транспортных средств вынуждены передвигаться по полевым дорогам, что приводит к повышенным нагрузкам на трансмиссию и рулевое управление.

Автомобили семейства УАЗ используются для перевозки людей, доставки продуктов, запасных частей для технического обслуживания и мелкогабаритных грузов (рисунок 1.1). Сельскохозяйственные предприятия имеют широкую номенклатуру модельного ряда автомобилей УАЗ, так как требуется автомобили для внутрихозяйственных перевозок, так и для транспортировки груза и людей на дальние расстояния [11, 72, 99, 111, 112]. Приведем наиболее часто используемые модели автомобильной техники семейства УАЗ в сельскохозяйственных предприятиях (рисунки 1.2-1.6).



Рисунок 1.1 – Автомобиль УАЗ 31512



Рисунок 1.2 – Автомобиль УАЗ 31514



Рисунок 1.3 – Автомобиль УАЗ 2206



Рисунок 1.4 – Автомобиль УАЗ 3303



Рисунок 1.5 – Автомобиль УАЗ 3163



Рисунок 1.6 – Автомобиль УАЗ 23632

Повышение производительности и надежности сельскохозяйственных перевозок является важнейшей задачей сельского хозяйства. Затраты на техническое обслуживание и ремонт транспортных средств составляют 12-15% от себестоимости сельскохозяйственных перевозок [17, 90, 119, 121]. Проведение технического обслуживания автомобилей семейства УАЗ происходит с определенной периодичностью ТО-1 – 15000 км, ТО-2 – 30000 км, СТО - 45000 км. Анализируя трудоемкость операций технического обслуживания, следует отметить, что затраченное время на рулевое управление составляет от 10 – 14 % в зависимости от вида технического обслуживания.

После окончания гарантийного срока обслуживания автомобильная техника обслуживается сельскохозяйственными предприятиями самостоятельно. Ремонтные подразделения сельскохозяйственных предприятий вынуждены сдвигать срок технического обслуживания в период интенсивных полевых работ, что приводит к возникновению отказов. Отказы рулевого управления не только снижают надежность, но и влияют на безопасность движения. Поэтому автомобилям с неисправным рулевым управлением категорически запрещен выезд до устранения неисправности [11, 12, 13, 14, 15, 90, 97, 108].

Одним из основных факторов снижения надежности рулевого управления является движение автомобиля, и транспортировка груза по полевым дорогам. Полевые дороги [106] являются одной из наиболее сложных и опасных сред для передвижения транспортных средств. Воздействие такого грунта на надежность рулевого управления может быть критичным, поскольку основная функция рулевой системы - обеспечение контроля и стабильности движения автомобиля.

В первую очередь, необходимо отметить, что деформация грунта влияет на поведение автомобиля при маневрировании. Это связано с изменением физических свойств грунта под действием нагрузки колеса. При проезде по деформируемому грунту возникают различные препятствия, такие как колеи, ямы или неровности, которые могут вызывать потерю контроля над управлением автомобиля. Дополнительно следует учесть ослабление или изменение состава

грунта под влиянием влажности или температурных условий.

Второе значимое воздействие деформированного грунта на рулевое управление - это его способность оказывать сопротивление перемещению колеса. Сопротивление скольжению колеса по грунту может привести к неадекватной реакции рулевого управления, особенно при выполнении маневров или поворотов. Это может вызывать потерю сцепления колес с дорогой и возникновение заноса автомобиля [83, 93, 109].

Третий фактор, влияющий на надежность рулевого управления при передвижении по дорогам сельскохозяйственного назначения - это его способность передавать информацию о состоянии дороги [73, 97]. При проезде по такому грунту возникают тряска и вибрация, которые могут затруднять восприятие дорожного покрытия и усложнять контроль за автомобилем. Это может приводить к ошибкам в управлении и повышенному риску возникновения аварийных ситуаций.

Для повышения надежности рулевого управления на деформируемом грунте необходимо принимать определенные меры. Прежде всего, следует обеспечить правильный выбор шин с достаточным протектором и хорошей адаптацией к различным типам дорожного покрытия. Кроме того, можно использовать системы стабилизации и контроля подвески, которые способны компенсировать воздействие деформируемого грунта на колеса автомобиля [90, 123].

Передвижение по деформируемому грунту представляет собой сложную задачу, особенно когда речь идет о рулевом управлении. В таких условиях возникают основные проблемы и риски, которые необходимо учитывать для повышения надежности этой системы.

Одной из основных проблем при передвижении по деформируемому грунту является потеря сцепления колес с поверхностью. Деформации грунта могут вызывать изменения его плотности и состава, что в свою очередь может привести к тому, что колеса начинают скользить, проваливаться в грязь или песок. Это создает опасность потери контроля над автомобилем и может

привести к аварии.

Еще одной проблемой является непредсказуемость деформаций грунта. В зависимости от погодных условий, массы автомобиля и других факторов, деформации могут быть разными по своей природе и интенсивности. Это делает сложным предугадывание возможных изменений на дороге и усложняет задачу поддержания стабильного рулевого управления.

Также важно учитывать, что при передвижении по деформируемому грунту возникает повышенная нагрузка на рулевую систему. Для того чтобы справиться с этой нагрузкой и обеспечить стабильное управление, необходимо использовать более прочные и надежные компоненты, такие как рулевые рейки, колонки, тяги и рулевые наконечники.

Наряду с основными проблемами, связанными с передвижением по деформируемому грунту, есть и определенные риски. Один из таких рисков - это возможность повреждения подвески автомобиля [13]. При проезде по ямам или другим неровностям на деформированном грунте, подвеска может быть подвергнута большим нагрузкам, что может привести к ее поломке или выходу из строя.

Также следует отметить риск потери устойчивости автомобиля при движении по полевым дорогам. Из-за изменений в плотности и составе грунта, а также из-за возможных неоднородностей в его структуре, автомобиль может начать "плавать" или "скользить" по дороге. Это создает опасность потери контроля над автомобилем и может привести к опасным ситуациям на дороге [127].

Но даже при всех выполненных требованиях, при тяжелой эксплуатации автомобиля в сельском хозяйстве, полный износ шарниров рулевого привода наблюдается через 9-10 тыс. км; люфт в рулевом колесе увеличивается от износа: сухарей – на 2-4 гр., пружин – на 2-3 гр., шлицев сошки – на 10-20 гр., шкворней и поворотных рычагов – на 13-20 гр. От общих потерь на трение в рулевом управлении потери на трение в приводе составляют 10-15%, в шкворневом устройстве – 40-50%. Износостойкость рулевого привода в три-четыре раза

меньше износостойкости рулевого механизма [16, 112, 122].

Шарниры рулевого привода работают в условиях повышенной запыленности, влажности и т.д. В связи с этим, большое внимание уделяют герметизации шарнирных соединений резиновыми уплотнительными устройствами с металлическими обоймами, подвижными пружинами и резиновыми гофрированными чехлами. На уплотняющих поверхностях резиновых деталей формируют гребневые концентрично расположенные кольца, повышающее надежность работы деталей. Стыки крышек в корпусе шарнира герметизируют водостойкими материалами. Интенсивность изнашивания их в несколько раз выше, чем у других узлов рулевого управления [61].

Таким образом, передвижение по полевым дорогам представляет ряд основных проблем и рисков, которые необходимо учитывать для повышения надежности рулевого управления. Важно использовать специальные технические решения [97, 99, 102], такие как более прочные компоненты рулевой системы и подвески, а также разрабатывать более точные алгоритмы технического обслуживания, чтобы обеспечить стабильное и безопасное передвижение в таких условиях.

1.2 Анализ факторов, влияющих на работу рулевого управления

Работа сельскохозяйственной техники в условиях деформируемого грунта сопряжена с повышенной нагрузкой на узлы и агрегаты машин. Рулевая система транспортных средств обеспечивает не только надежность, но и управляемость автомобиля. От ее стабильной работы зависит безопасность перевозок даже незначительные отказы рулевой системы приводят к прекращению эксплуатации. В конструкции системы управления автомобиля используются различные устройства для обеспечения безопасности и маневренности [66, 81, 98, 105, 109]. К их числу относится установка колес под определенными регулируемые углами. Рациональные углы установки колес имеют огромное влияние на работу автомобиля и при движении по прямой, и при поворотах.

Автомобиль должен обеспечивать стабильное движение на ровной дороге, благополучно поворачивать и эффективно возвращаться напрямую после поворота. Поэтому колеса устанавливаются на корпусе автомобиля под определенными углами для достижения требуемого результата. Совокупность требуемых углов называется установкой колес. Установку передних колес определяют пять факторов: развал, продольный наклон оси поворота, поперечный наклон оси поворота, схождение и радиус поворота [16, 96, 112].

Развал управляемых колес измеряется в градусах угла между средней линией колеса и вертикалью, он представляет собой установку колес так, что их верхние края наклонены наружу или внутрь. Если верх колеса наклонен наружу, это называется положительным развалом. При наклоне внутрь отрицательным развалом [110]. Рассмотрим основные функции угла между средней линией колеса и вертикалью (рисунок 1.7).

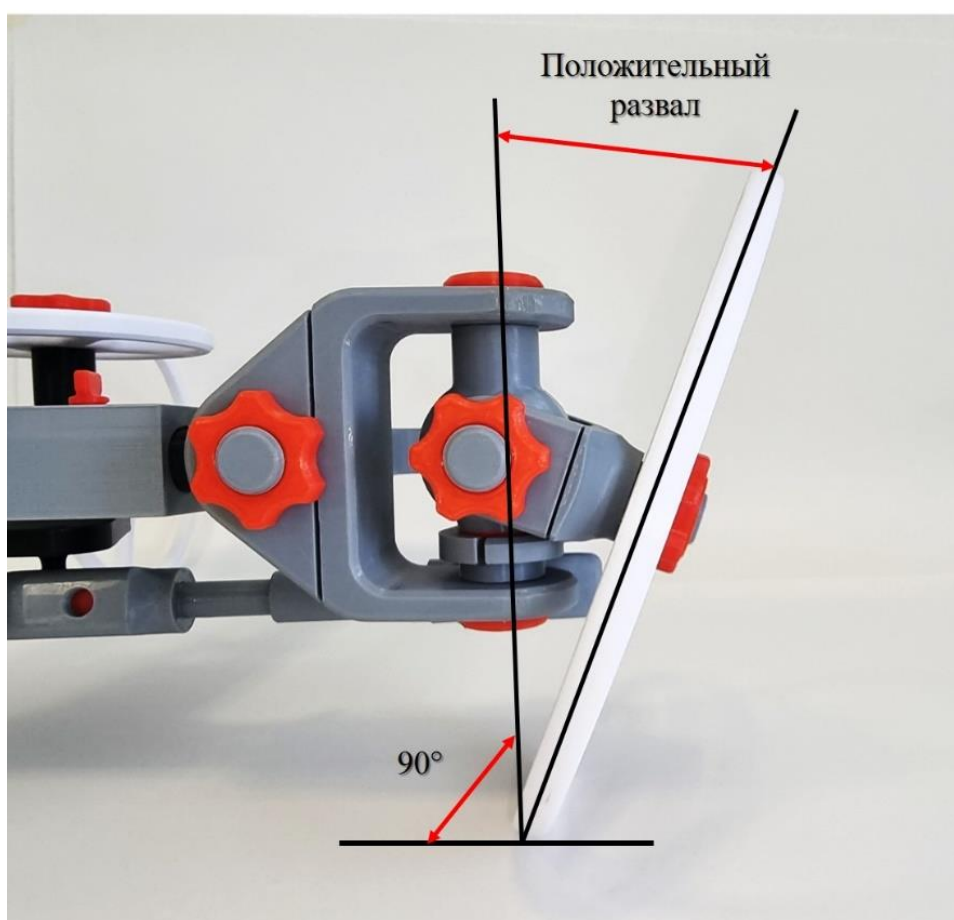


Рисунок 1.7 – Схема установки колес с положительным развалом

Если развал составляет 0 градусов, то нагрузка на цапфу действует в точке пересечения средней линии колеса с цапфой. Положительный развал колеса позволяет переместить нагрузку на внутреннюю сторону цапфы, уменьшая усилие, изгибающие ось и поворотный кулак (рисунок 1.8).

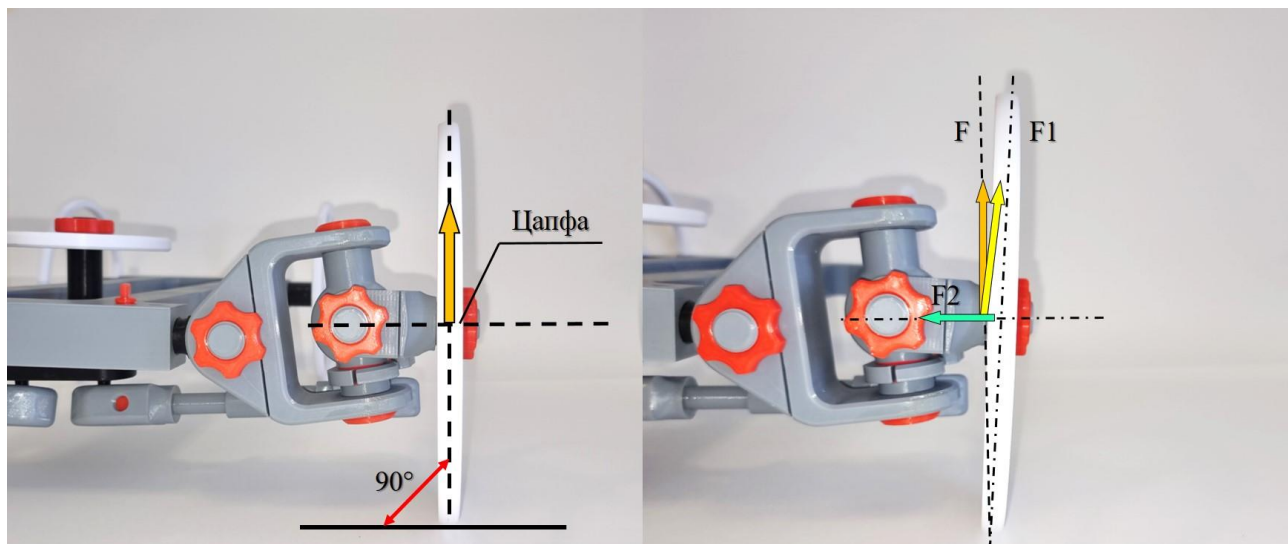


Рисунок 1.8 – Влияние угла развала колес на усилие изгибающие ось и поворотный кулак

Вертикальную силу F , действующую со стороны дороги, можно разложить на силу F_1 , вертикальную по отношению к цапфе, и F_2 , параллельную оси цапфы. F_2 прижимает колесо внутрь, предотвращая его соскальзывание с цапфы. В некоторых системах подвески нагрузка на ось такова, что верхний край колеса направлен внутрь. Положительный развал колес помогает этого избежать. По этим причинам положительный развал чаще всего встречается в автомобилях. Использование широких шин позволяет перейти к нулевому или отрицательному развалу, как к стандартному [2].

Рассмотрим роль отрицательного развала колес. Если колесо установлено вертикально, то при движении оно будет катиться вперед по прямой. Если колесо установлено с наклоном, то есть с развалом, то колесо будет двигаться по кривой в сторону своего наклона. Это называется крен в сторону развала. При движении автомобиля по прямой очень важно, чтобы шины передавали движущую силу на

поверхность дороги, контактируя с ней под правильным углом [82, 96]. В тоже время, если автомобиль проходит поворот, колеса на внешней стороне приобретают положительный развал. Это в особенности справедливо для случая независимой подвески, поскольку центробежная сила смещает нагрузку наружу. В этом случае внешнее колесо испытывает значительную нагрузку, вызванную центробежной силой. Поэтому возникла тенденция придавать колесам отрицательный развал, чтобы обеспечить надлежащее сцепление колеса с дорогой даже во время поворотов и улучшить характеристики прохождения поворотов.

Рассмотрим продольный наклон оси шкворня (рисунок 1.9). Продольный наклон оси шкворня измеряется в градусах относительно вертикали. Если ось поворота наклонена назад, угол наклона является положительным. При положительном угле точка пересечения центральной линии оси шкворня с дорогой оказывается впереди точки пятна контакта колеса с дорогой, которое называется плечом оси поворота [83].

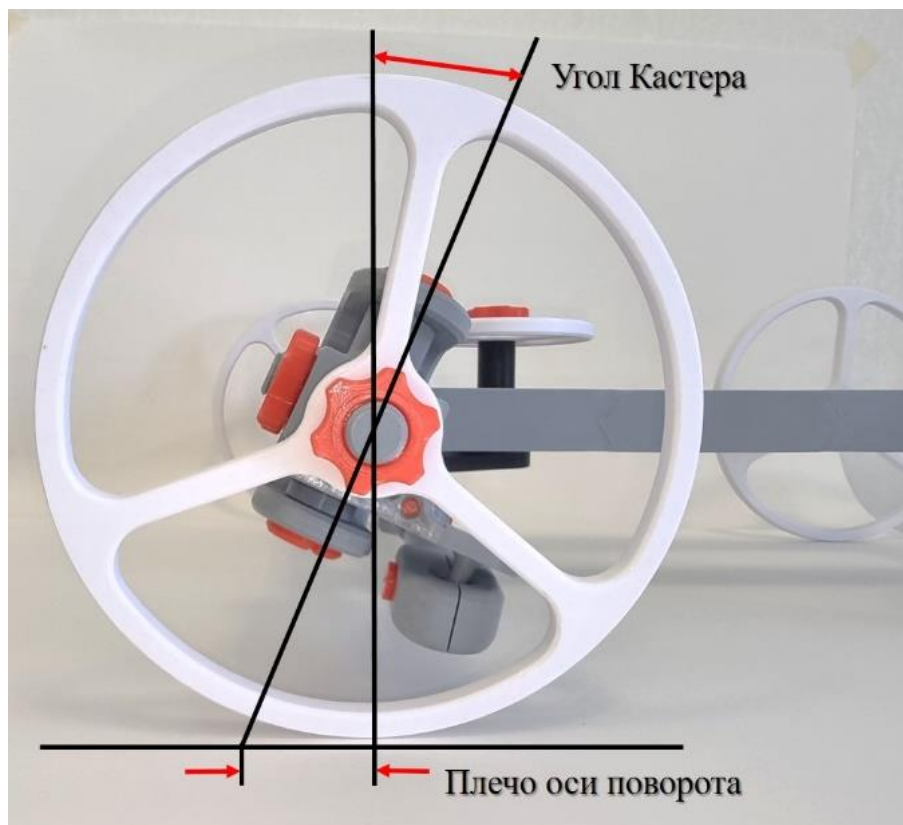


Рисунок 1.9 – Продольный наклон оси шкворня

Известно, что самоориентирующиеся колеса, могут легко менять направление движения и плавно перемещаться в заданном направлении. В этом случае ось поворота не имеет наклона, но имеется плечо оси поворота за счет того, что центр точки контакта оказывается позади оси поворота. Суммарная сила, действующая в области контакта колеса с дорогой (движущая сила) направлена в одну сторону, а сила трения в противоположную. В результате противодействия движущей силы и сил трения в пятне контакта, а также их смещения на величину плеча оси шкворня обеспечивается стабильность движения колеса при продольном движении [10, 25, 110].

Такой же подход применяется к транспортному средству в целом с учетом колес, взаимодействующих в общей системе управления. Рассмотрим два колеса одновременно, поскольку левое и правое колеса соединены. При повороте управляемых колес продолжение оси шкворня смещаются вперед на величину плеча оси шкворня, в результате введения положительного наклона оси. При повороте момент, действующий на колесо с внешней стороны, больше, а действующий на колесо с внутренней стороны, меньше. Таким образом возникают усилия, возвращающие колеса транспортного средства к положению прямо, при котором оба момента уравновешены. Продольный положительный наклон оси шкворня обеспечивает стабильность движению по прямой.

При положительном продольном наклоне оси шкворня стабильность движения по прямой создается уже самим наличием наклона. При наличии продольного угла наклона при повороте руля на колесе с внутренней стороны поворота возникает поднимающий крутящий момент. Он приподнимает корпус автомобиля. Если после поворота отпустить руль, вес автомобиля создаст возвращающую силу и руль повернется снова в положение прямо, при которых моментах на левом и правом колесе уравновешены. Таким образом, роль продольного наклона оси поворота и плеча оси поворота состоит в стабилизации прямолинейного движения и возвращении руля назад после поворота.

Рассмотрим поперечный угол наклона оси шкворня (рисунок 1.10).

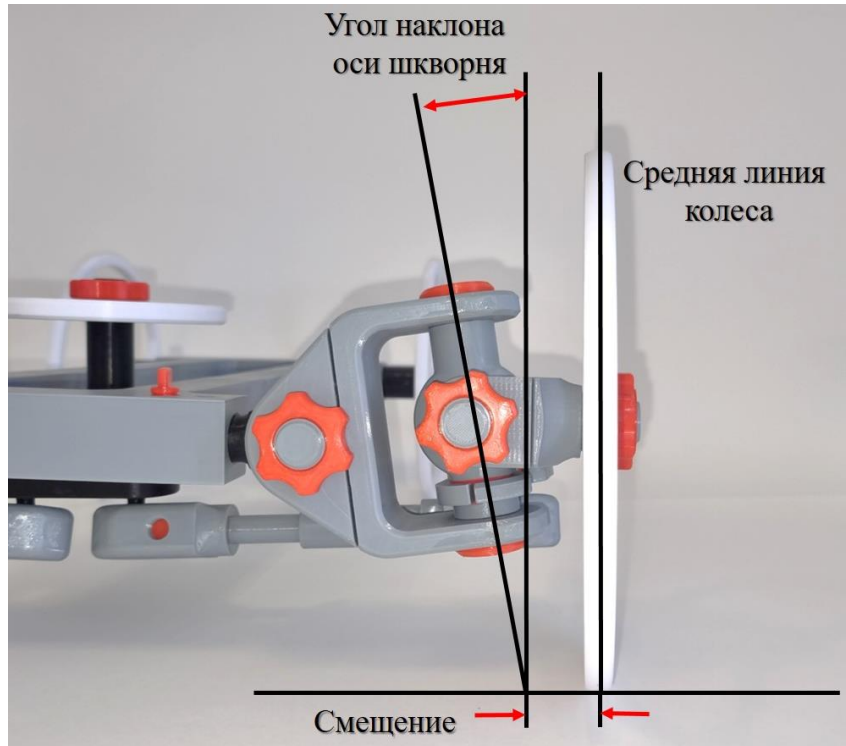
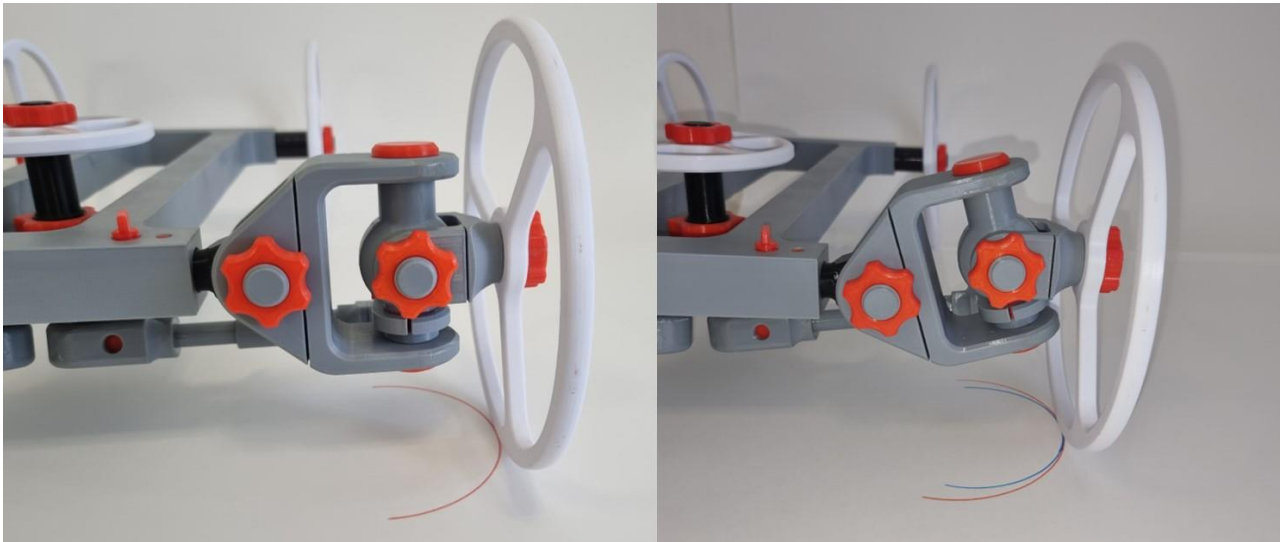


Рисунок 1.10 – Поперечный угол наклон оси шкворня

Поперечный наклон оси шкворня — это угол между осью шкворня и вертикалью. Расстояние между точками пересечения с дорогой оси шкворня и средней линии колеса называется смещением.

Поперечный угол наклона шкворня обеспечивает величину смещения средней линии колеса относительно оси шкворня. При вертикальном поперечном угле наклона шкворня величина смещения велика и поворот колеса относительно шкворня происходит по большой дуге при смене направления движения (рисунок 1.11) [25]. Поскольку при повороте на колесах развивается большая сила трения, для управления требуется больше усилия. В тоже время если оси поворота придать наклон и уменьшить смещение, поворот колеса происходит по меньшей дуге. Этим снижается усилие, необходимое для управления. Таким образом, введение поперечного наклона оси шкворня позволяет облегчить осуществление поворота.



а

б

а – вертикальный поперечный угол наклона шкворня, б – отрицательный поперечный угол наклона шкворня

Рисунок 1.11 – Влияние поперечного угла наклона шкворня на радиус поворота колеса относительно шкворня

Когда колеса испытывают толчки за счет неровностей дороги или на них действует тормозное усилие, возникает момент на плече равном смещению. Воздействие этого усилия на управление транспортным средством можно снизить за счет уменьшения смещения. Более того, при наличии продольного наклона оси при поворотах, колесо поднимает корпус автомобиля, что геометрически увеличивает возвращающие усилия, возникающие за счет продольного наклона оси шкворня. Таким образом, продольный наклон оси шкворня повышает стабильность движения по прямой [2, 25].

Рассмотрим схождение колес транспортного средства (рисунок 1.12). Схождение предполагает, что на транспортном средстве колеса не направлены строго вперед, а находятся под небольшим углом, передние края колес ближе, чем задние. Наличие схождения колес компенсирует моменты поворотных цапф, возникающие при развале колес. Существует взаимосвязь между развалом колес и их сходимостью, чем меньше угол развала колес, тем меньше должно быть схождение.



Рисунок 1.12 – Схождение колес транспортного средства

Углы поворота левого и правого колес не одинаковы, поэтому все четыре колеса вращаются относительно одного центра. Каждое колесо будет иметь свой постоянный радиус поворота.

Таким образом, анализ углов установки колес транспортного средства показал, что надежность и функционирование рулевого управления определяется отклонением в пределах допуска установленным заводом изготовителем. Для эффективной эксплуатации транспортных средств необходимо своевременное обнаружение отклонений от нормативных значений углов установки колес, которые определяются в процессе диагностирования [70, 96, 102].

1.3 Анализ выполненных исследований по совершенствованию эксплуатации рулевого управления транспортных средств

Эксплуатация автомобилей заключается в поддержании технической готовности к их использованию по назначению. Техническая эксплуатация включает: ввод техники в эксплуатацию, проведение технического обслуживания и ремонта, использование по назначению, обеспечение условий для сохранности, прекращение эксплуатации и утилизация [128]. Рулевое управление является важной частью автомобиля, доля отказов рулевого управления составляет от 6% до 8% в общей структуре отказов всех узлов и агрегатов автомобилей [20, 32, 93, 119, 121, 123]. Несмотря на небольшой процент отказа систем рулевого управления, они оказывают существенное влияние на безопасность дорожного движения [22, 31, 110].

Исследованиями безопасности дорожного движения по полевым дорогам занимались Л. Я. Кожуховская и А. А. Диков, ими рассмотрены условия устойчивости движения автотранспортных средств с учетом радиуса поворота, поперечных уклонов

$$P_{цз} = \frac{(m_z \cdot g \cdot V^2 \cdot \sin \theta)}{l} \quad (1)$$

где $P_{цз}$ – центробежная сила, действующая на каждую из осей, Н;

m_z – масса, приходящаяся на ось автомобиля, кг;

V – скорость автотранспорта, м/с;

l – длина автотранспорта, м;

θ – угол поворота управляемых колес, град.

Одним из важных факторов, влияющих на устойчивость автомобиля является конструктивные и тягово-скоростные характеристики автомобиля [42, 132].

Исследование показателей безопасности автомобилей с учетом технического состояния рулевого управления проводили А. С. Мосолов, Р. Х.

Хасанов. Ими установлено, что технические неисправности автомобиля составляют 10% причин дорожно-транспортных происшествий. Причем отказы рулевого управления занимают 13% от возможных неисправностей автомобиля. С учетом статистических данных дорожно-транспортных происшествий количество неисправностей рулевого управления в автомобилях постоянно увеличивается [3, 4, 24, 37, 51].

В настоящее время большинство автомобилей в сельском хозяйстве в период гарантийного срока обслуживаются дилерскими центрами, при этом возможно обслуживание с помощью мобильных агрегатов для проведения технического обслуживания [40, 41, 43, 76]. Для предотвращения отказов рулевого управления в состав мобильных агрегатов необходимо включать приборы для диагностики рулевого управления. Причем комплексную оценку состояния рулевого управления возможно оценивать с помощью приборов оценки суммарного люфта [62, 63, 64, 65].

В современных условиях при использовании технологий диагностирования основным прибором для выявления быстрого и точного нарушения работы узлов и агрегатов, является компьютер, подключаемый к электронному блоку управления автомобилем [103]. Однако рулевое управление используемых автомобилей в сельском хозяйстве не имеет подключения к CAN шине и не представляет возможности диагностирования в оперативном режиме. Поэтому важным элементом эксплуатации является своевременная диагностика рулевого управления с помощью специального оборудования [67, 93, 116]. Комплексным методом диагностики рулевого управления является определение люфтов в системе рулевого управления. При диагностики технического состояния элементов рулевого управления суммарный люфт не должен превышать для легковых автомобилей и их модификаций 10 градусов, автобусов 20 градусов, грузовых автомобилей 25 градусов. [18, 23, 26, 78, 79, 100, 101, 110, 115].

Для оценки суммарного люфта применяют лазерные устройства, монтируемые на рулевом колесе. Угол поворота колеса оценивают с помощью реперных точек по формуле [9]

$$\varphi = \arctg \cdot (k_1 - k_2) \cdot (1 + k_1 k_2) \quad (2)$$

где φ – угол поворота рулевого колеса, град;

k_1 k_2 – угловые коэффициенты прямых, проходящих через реперные точки.

Несмотря на использование ЭВМ и более точных методов контроля поворота рулевого колеса прибор использует датчики прибора ИСЛ-М, что не существенно влияет на определение суммарного люфта [9, 78].

Так как рулевое управление состоит из упругих звеньев, то его можно представить, как колебательную систему [30]. Профессор Гребенников А.С. предлагает для оценки воздействия для элемента рулевого управления следующую зависимость

$$F(t) = 2J_k \frac{d^2\varphi_k}{dt} + \psi \frac{d\varphi_k}{dt} + g\varphi_k \quad (3)$$

где J_k - момент инерции управляемого колеса относительно оси шкворня;

φ_k - угол поворота управляемых колес автомобиля;

ψ - коэффициент силы сопротивления движению;

g – коэффициент гармонической линеаризации, зависящий от технического состояния системы управления курсовой устойчивостью (рулевого управления) АТС.

Предложенный способ диагностики рулевого управления в процессе движения представляет определённый интерес так как позволяет диагностировать наличие суммарного люфта во время движения. Таким образом анализ выполненных исследований показал, что большинство исследователей [4, 9, 28, 29, 36, 50, 58, 78, 90, 124] считают основным диагностическим параметром – суммарный люфт рулевого механизма.

1.4 Цель и задачи исследования

В сельском хозяйстве используются универсальные транспортные средства, предназначенные для дорог общего назначения. В период полевых работ большинство транспортных средств вынуждены передвигаться по полевым дорогам, что приводит к повышенным нагрузкам на трансмиссию и рулевое управление.

Цель исследования – совершенствование эксплуатации рулевого управления транспортных средств в АПК.

В соответствии с поставленной целью были разработаны задачи исследований:

1. Провести анализ факторов, влияющих на эксплуатацию рулевого механизма при эксплуатации транспортных средств в АПК.
2. Исследовать влияние условий эксплуатации автомобиля на элементы рулевого управления.
3. Оценить условия эксплуатации автомобилей в АПК и предложить мероприятия по совершенствованию диагностирования и технического обслуживания рулевых механизмов.
4. Рассчитать технико-экономический эффект предложенных мероприятий.

Выводы по главе 1:

1. Анализ выполненных исследований по повышению эффективности функционирования рулевого управления автомобилей показал, что передвижение по полевым дорогам представляет ряд основных проблем и рисков, которые необходимо учитывать для повышения надежности рулевого управления. Важно использовать специальные технические решения, такие как более прочные компоненты рулевой системы и подвески, а также разрабатывать более точные алгоритмы технического обслуживания, чтобы обеспечить стабильное и безопасное передвижение в таких условиях.

2. Анализ углов установки колес транспортного средства показал, что

надежность и функционирование рулевого управления определяется отклонением в пределах допуска установленным заводом изготовителем. Для эффективной эксплуатации транспортных средств необходимо своевременное обнаружение отклонений от нормативных значений углов установки колес, которые определяются в процессе диагностирования. Большинство исследователей считают основным диагностическим параметром – суммарный люфт рулевого механизма.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ НА РУЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ

2.1 Совершенствование эксплуатации рулевого управления

Надежность рулевого управления характеризуется не только конструкцией, но и другими факторами такими, как условия эксплуатации, дорожные условия, неуравновешенные воздействия, а также технические и организационные мероприятия.



Рисунок 2.1 – Схема факторов, влияющих на рулевое управление автомобиля в АПК

Дорожные условия в сельском хозяйстве характеризуется дорогами третьей и четвертой категориями [21] - автомобильные дороги пригородной зоны,

имеющие покрытие из булыжного колотого камня, а также грунтовые дороги имеющие неукрепленные местными материалами покрытия. В процессе движения по данным автомобильным дорогам возможна столкновение с препятствиями в виде булыжников, выбоин и естественных неровностей [6]. Также в процессе движения возникает износ шин, происходит деформация колесных дисков и элементов конструкции автомобиля, что вызывает неуравновешенные воздействия. В процессе эксплуатации возникают повышенная запыленность, коррозия, загрязнение колес и элементов рулевого управления налипшей грязью, что ускоряет износ рулевого механизма. Важной составляющей является стиль вождения определенного водителя при преодолении естественных неровностей [74, 93]. Технические и организационные мероприятия способны частично компенсировать негативные факторы воздействия на рулевое управление [55, 118]. В то же время исходными факторами, влияющими на эксплуатацию рулевого управления, являются ускорение, скорость до и после прохода препятствий и величина препятствий. Проведем исследования взаимодействия колеса с препятствиями.

2.2 Теоретические исследования взаимодействия колеса с препятствиями

При эксплуатации в сельском хозяйстве автомобили преимущественно передвигаются по дорогам 3 категории. Повреждения и деформации дорожного полотна должны устраняться в течении 7 суток. Наиболее часто встречающимися повреждениями дорожного полотна являются просадки, выбоины, выкрашивание, проломы, трещины и другие. Разрушение дорожного покрытия углублений более 3 сантиметров и площадью более 200 см² являются критическими и требуют ремонта [6]. Рассмотрим движение колеса по выбоинам (рисунок 2.2)

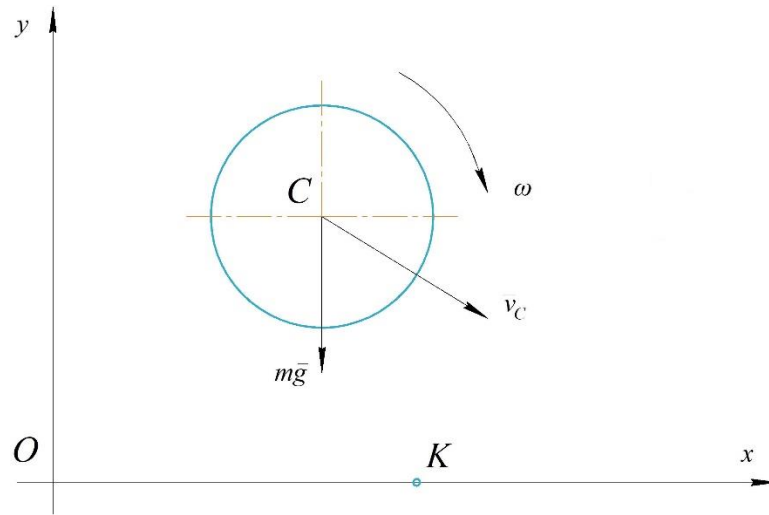


Рисунок 2.2 – Расчетная схема падения колеса в выбоину

Составим дифференциальное уравнение падения колеса в выбоину

$$\begin{cases} m\ddot{x}_c = 0 \\ m\ddot{y}_c = -mg \\ J_{Cz}\ddot{\varphi} = 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

где m – масса управляемого колеса, кг;

J_{Cz} – момент инерции управляемого колеса, кг·м²;

φ – угол вращения колеса (поворота вокруг оси колеса), градус;

x_c, y_c – координаты центра вращения (центра тяжести) колеса, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Проинтегрируем выражение 2.1 с учетом начальных условий

$$x_{c0} = 0, \quad y_{c0} = H + r_k, \quad \dot{x}_{c0} = V_c, \quad \dot{y}_{c0} = 0, \quad \dot{\varphi}_0 = \omega_3$$

Подставив начальные условия получим

$$\begin{cases} x_c = V_c t \\ y_c = -\frac{gt^2}{2} + h + r_k \\ \varphi = \frac{V_c}{r_k} t \end{cases} \quad (2.2)$$

где r_k – радиус колеса, м;

h – глубина выбоины, м;

V_c – поступательная скорость движения колеса, м/с;

t – время, с.

Для определения скоростей центра колеса возьмем производную от выражения 2.2

$$\begin{cases} \dot{x}_c = V_c \\ \dot{y}_c = -gt \\ \dot{\phi} = \frac{V_c}{r_k} \end{cases} \quad (2.3)$$

Тогда время падения колеса в выбоину составит

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2.4)$$

За время падения колесо переместится. Дальность перемещения центра масс равна

$$x_1 = V_c \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2.5)$$

Учитывая, что угловая скорость колеса при падении не изменилась

$$\omega = \frac{V_c}{r_k} \quad (2.6)$$

Найдем проекции поступательной скорости центра колеса

$$\begin{cases} V_{cx} = V_c \\ V_{cy} = -\sqrt{2gh} \end{cases} \quad (2.7)$$

$$V_{c.пад} = \sqrt{V_{cx}^2 + 2gh} \quad (2.8)$$

При выезде колеса из выбоины оно ударяется о кромку расположенную на высоте h (рисунок 2.3).

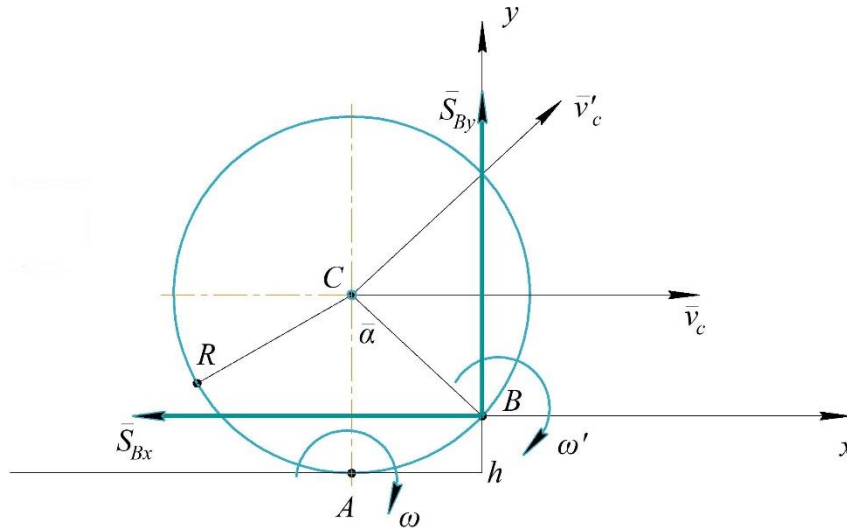


Рисунок 2.3 – Расчетная схема выезда колеса из выбоины

Рассмотрим наиболее неблагоприятный случай не упругий удар колеса о кромку выбоины. Ударный импульс в этом случае направлен по нормали к окружности колеса. В момент удара меняется направление скорости центра масс, а также меняется величина угловой скорости [110]. Применим теорему об изменении кинетического момента

$$L_{Bz}(t_0) = mV_c(r_k - h) + J_{Cz}\omega \quad (2.9)$$

где $J_{Cz} = \frac{mr_k^2}{2}$ - момент инерции колеса относительно оси колеса z_c ;

$\omega = \frac{V_c}{r_k}$ - угловая скорость колеса;

r_k - радиус колеса, м;

h - глубина выбоины, м;

V_c - поступательная скорость движения колеса, м/с;

t - время, с;

m – масса управляемого колеса, кг.

Тогда кинетический момент $L_{Bz}(t_0)$ в начале удара можно записать в виде

$$L_{Bz}(t_0) = \left(\frac{3r_k - 2h}{2} \right) mV_C \quad (2.10)$$

В результате удара о кромку выбоины колесо приобретает вращение относительно оси колеса, в этом случае кинетический момент колеса определится выражением

$$L_{Bz}(t_0 + \tau) = J_{Bz}\omega_{уд} \quad (2.11)$$

Так как колесо находится одновременно в двух движениях, движется поступательно со скоростью V_C и вращается с угловой скоростью ω , то момент инерции колеса определится выражением $J_{Bz} = \frac{3}{2}mr_k^2$. Подставив величину момента инерции колеса найдем величину кинетического момента при ударе

$$L_{Bz}(t_0 + \tau) = \frac{3}{2}mr_k^2\omega_{уд} \quad (2.12)$$

Исходя из условия непрерывности движения можем записать следующее выражение

$$\left(\frac{3r_k - 2h}{2} \right) mV_C = \frac{3}{2}mr_k^2\omega_{уд} \quad (2.13)$$

Выразим величину угловой скорости при ударе $\omega_{уд}$ из выражения (2.13)

$$\omega_{уд} = \frac{3r_k - 2h}{3r_k^2} V_C \quad (2.14)$$

Выражение (2.14) выполняется при условии: $r_k > \frac{2h}{3}$.

Поступательную скорость центра колеса можно представить в следующем виде

$$V_{c.уд} = \left(1 - \frac{2h}{3r_k}\right) V_c \quad (2.15)$$

где $V_{c.уд}$ – скорость центра колеса при ударе о кромку выбоины, м/с.

Применив теорему об изменении количества движения определим ударный импульс колеса и спроецируем на оси координат

$$\begin{cases} m(V_{cx.уд} - V_c) = S_{Bx} \\ m(V_{cy.уд} - 0) = S_{By} \end{cases} \quad (2.16)$$

где S_B – ударный импульс колеса, кг·м/с;

$V_{cx.уд}$ – горизонтальная проекция скорости, ($V_{cx.уд} = V_{c.уд} \cos \alpha$);

$V_{cy.уд}$ – вертикальная проекция скорости, ($V_{cy.уд} = V_{c.уд} \sin \alpha$);

α – угол между вертикальной осью и кромкой выбоины, градус.

Величину угла α можно определить из следующих выражений.

$$\cos \alpha = \frac{r_k - h}{r_k} \quad (2.17)$$

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{r_k^2 - (r_k - h)^2}}{r_k} \quad (2.18)$$

Преобразовав выражения (2.16) с учетом выражений (2.13, 2.15, 2.17, 2.18) получим

$$S_{Bx} = \left(\frac{2h}{3r_k} + \frac{r_k}{h} - \frac{8}{3} \right) mV_C \quad (2.19)$$

$$S_{By} = \left(1 - \frac{2h}{3r_k} \right) \sqrt{\frac{h}{r_k} \left(2 - \frac{h}{r_k} \right)} mV_C \quad (2.20)$$

При перекачивании через кромку выбоины меняется поступательная скорость V_{C2} , центра колеса и угловая скорость колеса ω_2 (рисунок 2.4). Для определения скорости колеса воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии

$$\frac{J_{Az}(\omega_2^2 - \omega_{уд}^2)}{2} = A_{\text{тяж}} \quad (2.21)$$

где $A_{\text{тяж}}$ – работа по преодолению силы тяжести при выезде из выбоины, Дж.

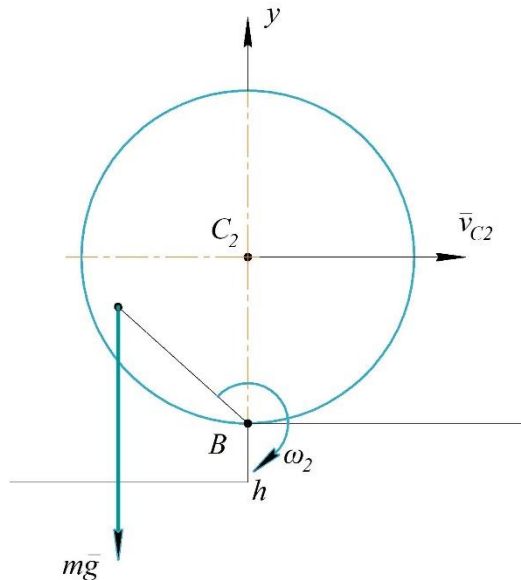


Рисунок 2.4 – Расчетная схема к определению скорости после преодоления выбоины

Работа по преодолению силы тяжести при выезде из выбоины $A_{\text{тяж}}$ определяется высотой выбоины

$$A_{\text{тяж}} = -mgh \quad (2.22)$$

Подставив выражение (2.22) в выражение (2.21), определим величину угловой скорости после преодоления выбоины

$$\omega_2 = \sqrt{\omega_{уд}^2 - \frac{4}{3} \frac{gh}{r_k^2}} \quad (2.23)$$

Тогда поступательная скорость колеса определится следующим образом

$$V_{c2} = \omega_2 r_k \quad (2.24)$$

Преодоление выбоины возможно при выполнении условия

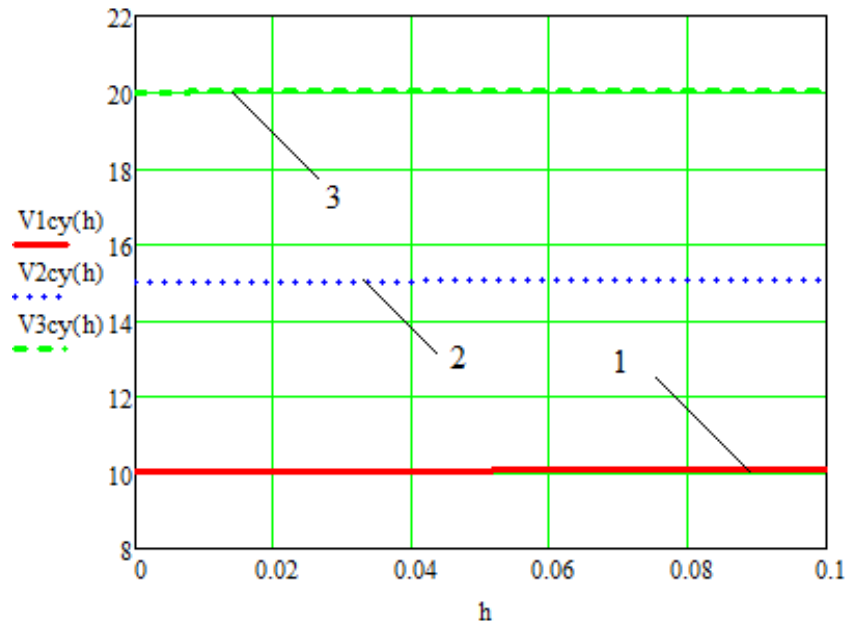
$$\omega_{уд}^2 > \frac{4}{3} \frac{gh}{r_k^2} \quad (2.25)$$

Аналогично можно получить условия преодоления выбоины для поступательной скорости

$$V_c > \sqrt{\frac{gh}{3} \frac{6r_k}{3r_k - 2h}} \quad (2.26)$$

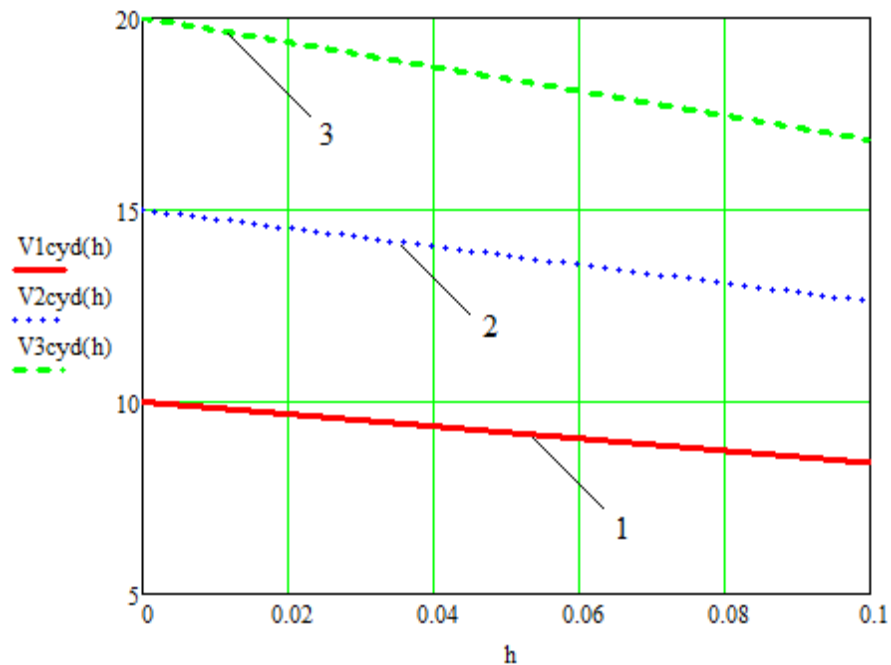
Сравним изменения скорости колеса при падении в выбоину и при выезде из нее, воспользовавшись формулами (2.8, 2.15). Построим графики изменения скоростей в программе MathCad.

Анализируя изменения скорости при падении в выбоину колеса (рисунок 2.5) и выезде из нее (рисунок 2.6) видно, что изменения скорости при выезде из выбоины меняется более интенсивно при этом можно видеть, что замедление и ускорение происходит равноускорено. Поэтому при анализе проезда выбоин будем рассматривать выезд из выбоины так как он связан наибольшей нагрузкой на рулевой механизм.



1 – скорость колеса 10 м/с; 2 – скорость колеса 15 м/с;
3 – скорость колеса 20 м/с

Рисунок 2.5 – Зависимость изменения скорости от глубины выбоины (при падении колеса в выбоину)



1 – скорость колеса 10 м/с; 2 – скорость колеса 15 м/с;
3 – скорость колеса 20 м/с

Рисунок 2.6 – Зависимость изменения скорости от глубины выбоины (при выезде колеса из выбоины)

При проезде выбоин одним из колес на значительной скорости происходит поворот колеса относительно шкворня за счет гироскопического момента (рисунок 2.7). Колесо имеет значительную массу и вращаясь со значительной скоростью выполняет роль маховика, что приводит к колебаниям элементов рулевого управления. Величина момента поворота колеса определится следующим выражением [110]

$$T_{r1} = J_k \omega_k \frac{d\gamma}{dt} \quad (2.27)$$

где J_k - момент инерции колеса;

ω_k - угловая скорость колеса;

$d\gamma / dt$ - угловая скорость моста управляемых колес относительно продольной оси автомобиля.

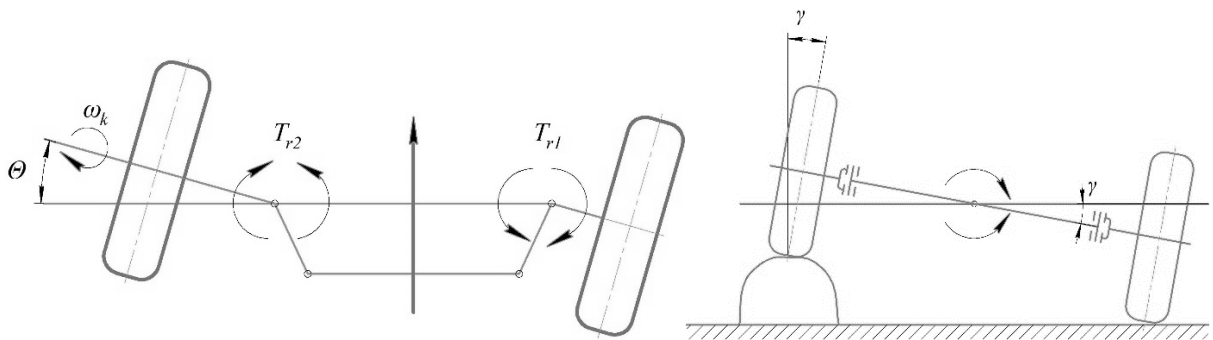
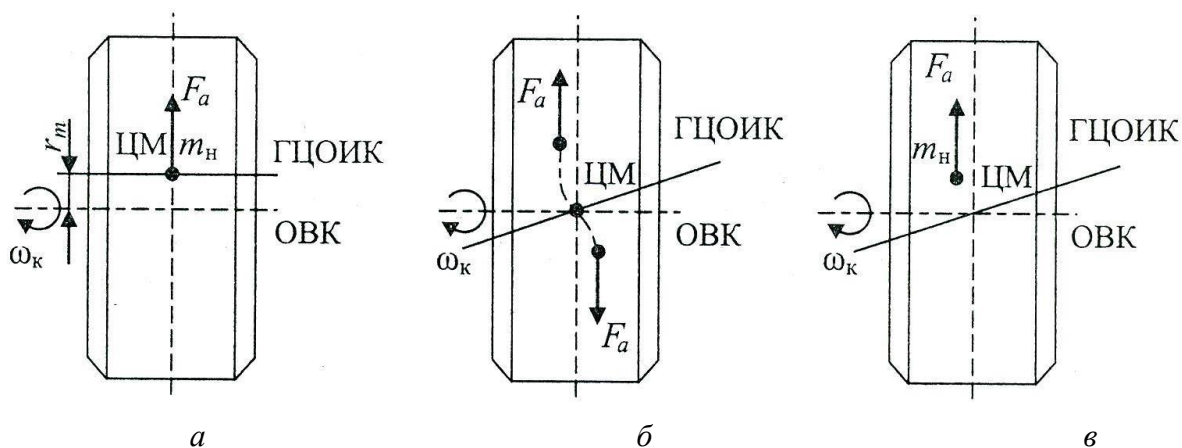


Рисунок 2.7 - Схема поворота управляемых колес под действием гироскопического момента

Помимо колебаний, вызванных гироскопическим моментом колеса, присутствуют колебания, вызванные неуравновешенностью (рисунок 2.8). Неуравновешенность колеса бывает трех видов: статической, динамической и комбинированной. Наиболее часто встречается комбинированная неуравновешенность.



а – статического; б – динамического; в – комбинированного

Рисунок 2.8 - Виды неуравновешенности колеса

Неуравновешенность колеса приводит к возникновению колебаний, вызывающих момент, который приводит к повороту колеса.

$$T_{\Pi} = m_{\text{н}} r_{\text{к}} \omega^2 l_{\text{ц}} \sin(\omega t) \quad (2.28)$$

где $m_{\text{н}}$ – неуравновешенная масса колеса, кг;

$r_{\text{к}}$ – радиус колеса, м;

ω – угловая скорость колеса, рад/с;

$l_{\text{ц}}$ – длина цапфы, м.

Колебания вызванными различными факторами обусловлены изменением ускорения колеса. Величина ускорения при проезде выбоин носит равноускоренный характер, а при неуравновешенности масс периодически повторяющейся. В то же время наибольшую величину имеют ускорение при проезде выбоин и различных препятствий, в дальнейшем рассмотрим наиболее интенсивный вид нагрузки – нагрузки при выезде из выбоины.

Учитывая, что при динамическом воздействии на колесо ускорение колеса не меняется при различных зазорах шарниров рулевого механизма, однако при выборе зазоров увеличивается время воздействия колеса на шарнир при равноускоренном движении таким образом скорость взаимодействия в шарнире будет увеличиваться.

$$V_{ш1} = \frac{V_c l_{ц}}{l_p} \quad (2.29)$$

где $V_{ш}$ – начальная скорость поворотного рычага, м/с;

V_c – скорость центра колеса, м/с;

$l_{ц}$ – длина цапфы, м;

l_p – длина рычага, м.

Учитывая, что движение при выезде из выбоины будет равноускоренным, то при увеличении зазора скорость взаимодействия элементов шарнира будет определяться выражением

$$V_{ш2} = \sqrt{V_{ш1}^2 + 2a_{ш}\Delta} \quad (2.30)$$

где $V_{ш2}$ – конечная скорость поворотного рычага, м/с;

$a_{ш}$ – ускорение рычага, м/с²;

Δ – величина зазора в шарнире, м.

$$a_{ш} = \frac{a_c l_{ц}}{l_p} \quad (2.31)$$

где a_c – ускорение центра тяжести колеса, м/с²;

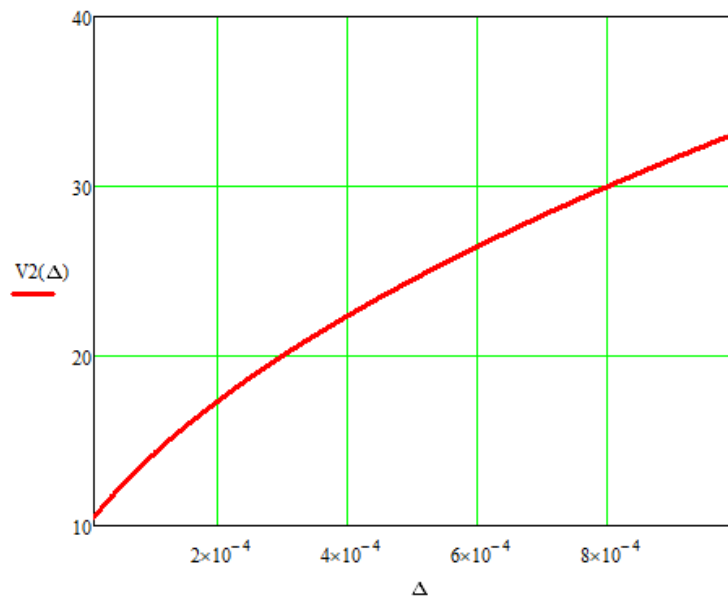


Рисунок 2.9 – Зависимость изменения скорости поворотного рычага от зазора в шарнире

В этом случае ударный импульс колеса будет существенно выше при увеличении зазора. При этом работа по деформации шарнира рулевого управления

$$T_k - T_0 = A_{ш} = F_{ш} \cdot (\Delta + \delta_{ш}) \quad (2.32)$$

где $A_{ш}$ – работа по деформации шарнира, Дж;

T_k – конечная кинетическая энергия, Дж;

T_0 – начальная кинетическая энергия, Дж.

Деформация шарнира будет определяться с учетом упругих деформаций (закон Гука)

$$\delta_{ш} = \frac{F_{ш}}{c} \quad (2.33)$$

где $\delta_{ш}$ – статическая деформация шарнира, м;

$F_{ш}$ – усилие деформации шарнира, Н;

c – жесткость материала шарнира, Н/м.

При ударе, возникающем в шарнире в результате наличия зазора динамическая величина деформации существенно возрастает (рисунок 2.10) [54].

$$\delta_d = \delta_{ш} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2\Delta}{\delta_{ш}}} \right] = K_d \delta_{ш} \quad (2.34)$$

где δ_d – динамическая деформация шарнира, м;

K_d – динамический коэффициент.

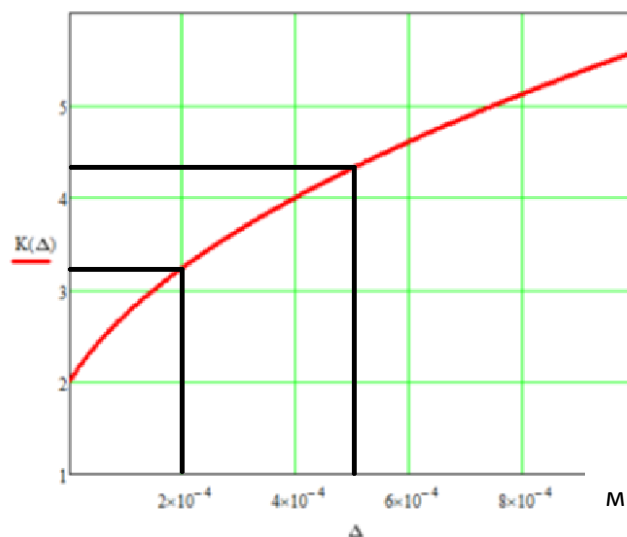


Рисунок 2.10 – Зависимость изменения коэффициента динамичности от зазора в шарнире

Анализ рисунка 2.10 показал, что с увеличением зазоров в шарнире величина коэффициента динамичности интенсивно возрастает. При величине зазора $2 \cdot 10^{-4}$ м коэффициент динамичности составляет 3,3. Таким образом с увеличением величины зазора повышается динамический коэффициент. Исследованиями Г.Д. Кокорева установлено [45], что увеличение динамической нагрузки ускоряет процесс износа механизмов рулевого управления.

2.3 Исследования усилий взаимодействия колеса с опорной поверхностью при различных углах поворота и наклона рельефа

Рассмотрим простейший случай движения колеса с постоянной скоростью, в этом случае систему колесо – опорная поверхность можно считать находящиеся в равновесии. Введем следующие допущения: при движении колеса учитываем только силу трения – скольжения, не учитываем деформацию грунта при движении колеса. На колесо действует вес автомобиля, приходящийся на данное колеса, крутящий момент колеса, а также момент поворотного кулака относительно шкворня [39, 83]. Со стороны опорной поверхности действует нормальная реакция опоры и сила трения – скольжения (рисунок 2.11).

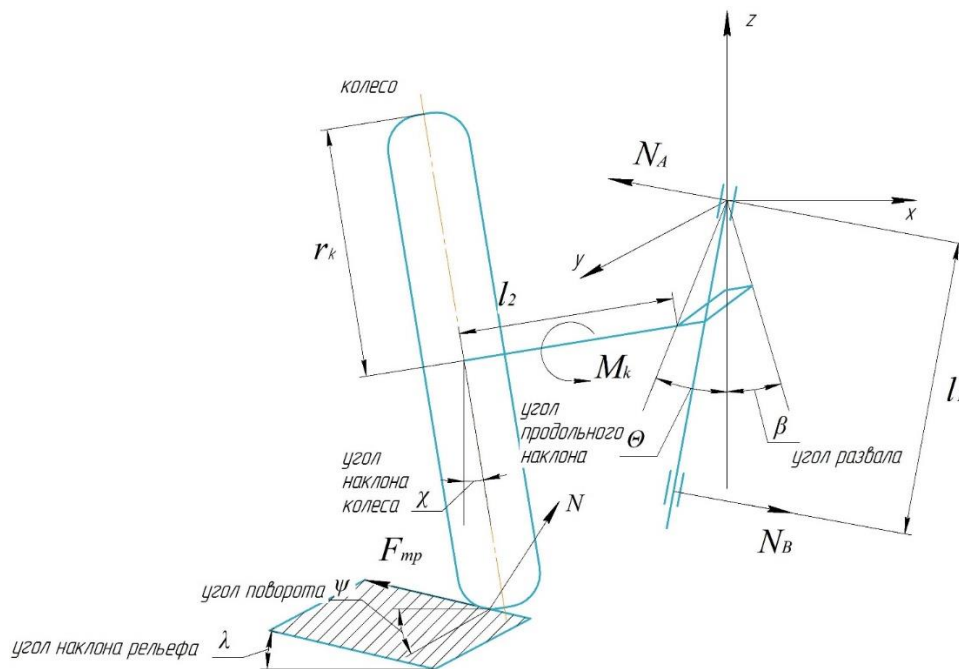


Рисунок 2.11 – Расчётная схема к определению силового взаимодействия колеса с препятствием

Спроецируем действующие силы и моменты на оси координат и составим уравнение равновесия

$$\begin{cases} \sum F_x = -N_a \cos \beta + N_b \cos \beta + N \sin \lambda \cdot \cos \psi - F_{\text{тр}} \cos \lambda \cdot \cos \psi = 0 \\ \sum F_z = -P + N \cos \lambda \cdot \cos \psi + F_{\text{тр}} \sin \lambda \cdot \cos \psi + N_a \sin \beta - N_b \sin \beta = 0 \\ \sum M_x = M_{\kappa} \cos \chi - N \cdot \sin \lambda \cos \psi r_{\kappa} - F_{\text{тр}} \cos \lambda \cdot \cos \psi \cdot r_{\kappa} - N_b \cos \theta \cdot l_1 = 0 \\ F_{\text{тр}} = fN \end{cases} \quad (2.35)$$

Выразим из первого уравнения системы 2.35 величину N_b

$$N_b = \frac{N_a \cos \beta - N \sin \lambda \cdot \cos \psi + F_{\text{тр}} \cos \lambda \cdot \cos \psi}{\cos \beta} \quad (2.36)$$

Подставим полученное значение во второе уравнение системы 2.35

$$\begin{aligned} & -P + N \cos \lambda \cdot \cos \psi + fN \sin \lambda \cdot \cos \psi + \\ & + N_a \sin \beta - \frac{N_a \cos \beta - N \sin \lambda \cdot \cos \psi + fN \cos \lambda \cdot \cos \psi}{\cos \beta} \sin \beta = 0 \end{aligned} \quad (2.37)$$

Выразим величину реакции опоры колеса N

$$N = \frac{P \cos \beta}{\cos \lambda \cdot \cos \psi \cdot \cos \beta + f \sin \lambda \cdot \cos \psi \cdot \cos \beta + \sin \lambda \cdot \cos \psi \cdot \sin \beta - f \cos \lambda \cdot \cos \psi \cdot \sin \beta} \quad (2.38)$$

Обозначим знаменатель выражения 2.38

$$Q = \cos \lambda \cdot \cos \psi \cdot \cos \beta + f \sin \lambda \cdot \cos \psi \cdot \cos \beta + \sin \lambda \cdot \cos \psi \cdot \sin \beta - f \cos \lambda \cdot \cos \psi \cdot \sin \beta$$

Подставив полученные выражения 2.38 в третье уравнение системы 2.35 получим величину N_b

$$N_b = \frac{M_{\kappa} \cos \chi - \frac{P \cos \beta}{Q} \sin \lambda \cdot \cos \psi \cdot r_{\kappa} - \frac{f P \cos \beta}{Q} \sin \lambda \cdot \cos \psi \cdot r_{\kappa}}{\cos \theta \cdot l_1} \quad (2.39)$$

Тогда можем определить вторую реакцию N_a

$$N_a = \frac{N_B \cos \beta + N \sin \lambda \cdot \cos \psi - f N \cos \lambda \cdot \cos \psi}{\cos \beta} \quad (2.40)$$

Спроецируем реакцию опоры колеса на ось координат

$$\begin{cases} F_x = N \sin \lambda \cdot \cos \psi \\ F_y = N \sin \lambda \cdot \sin \psi \\ F_z = N \cos \lambda \end{cases} \quad (2.41)$$

Полученная система 2.41 позволяет определить усилия действующее на колесо при равномерном движении с измененными углами установки управляемого ведущего колеса. Рассчитаем усилие, действующее на колесо в программе MathCad. Исходные параметры для расчёта: вес, приходящийся на управляемое колесо $P = 950$ Н, угол поворота колеса $\psi = 14$ град, угол продольного наклона шкворня $\theta = 2,6$ град. Результаты расчетов по выражению 2.41 представлены на рисунках (2.12-2.14)

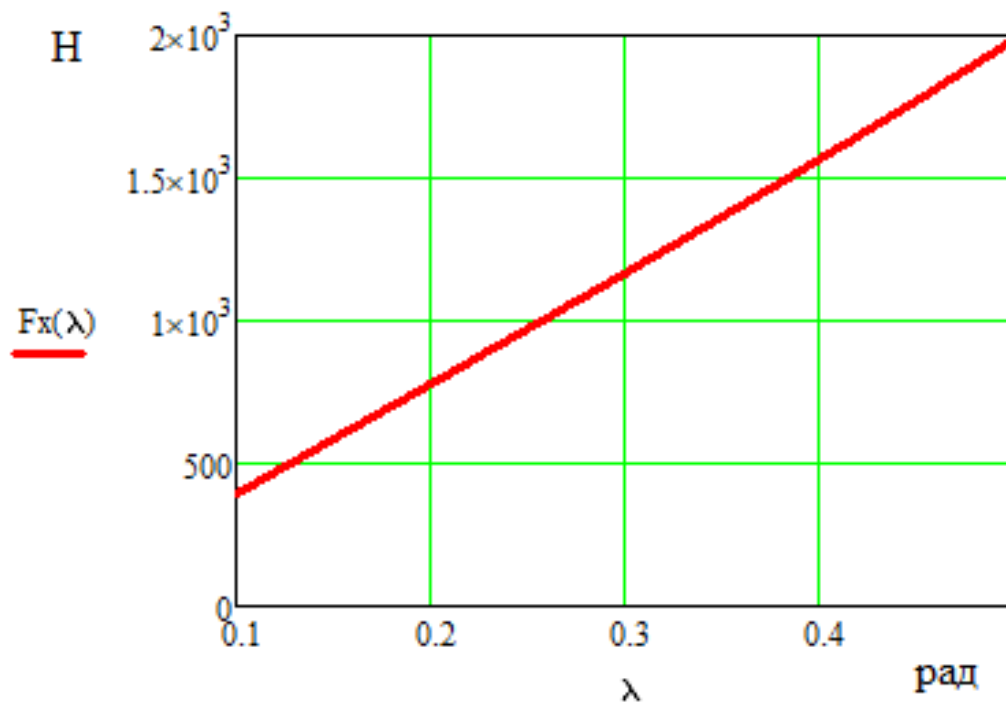


Рисунок 2.12 – Зависимость поперечного усилия, действующего на управляемое колесо усилия F_x от угла поперечного наклона рельефа

Угол поперечного наклона рельефа в значительной степени определяет усилия взаимодействия в рулевом механизме автомобиля. При значительных углах поворота и изменении углов наклона рельефа рулевой механизм будет

испытывать значительные нагрузки. Причем чем больше поперечный угол наклона рельефа, тем больше боковое усилие будет действовать на колесо. Боковое усилие колеса передается непосредственно на элементы рулевого механизма автомобиля вызывая их повышенный износ. При небольших углах наклона микрорельефа от 12 до 17 градусов, величина бокового усилия изменятся от 750 Н до 1150 Н, что соответствует эксплуатационным нагрузкам при движении по дорогам третьей категории (внутрихозяйственные дороги).

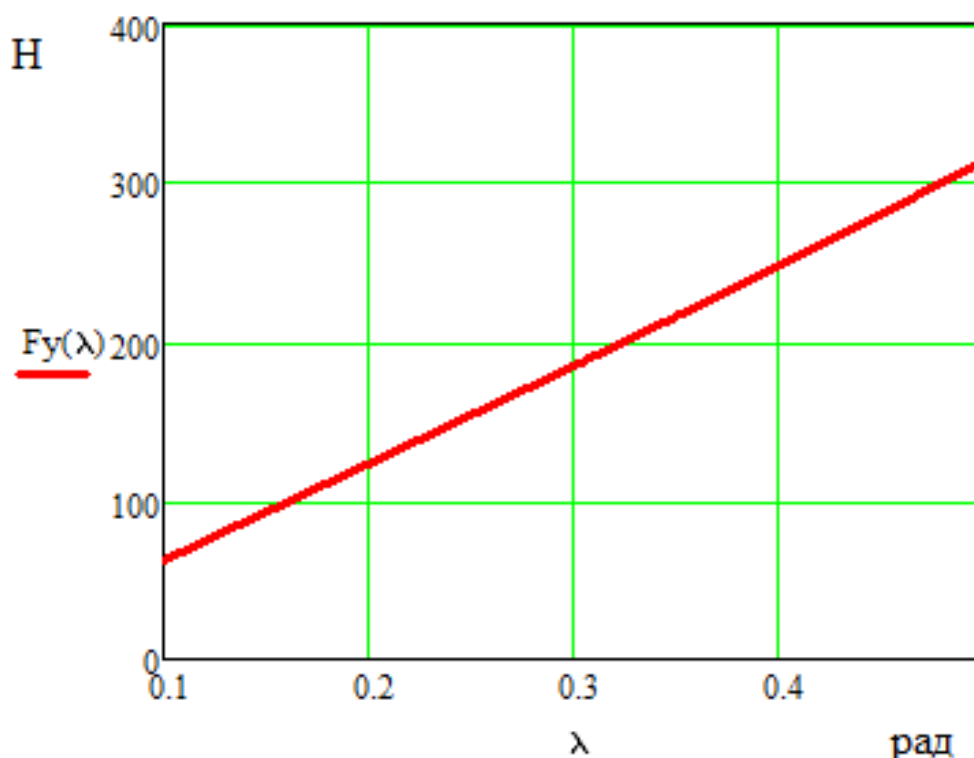


Рисунок 2.13 – Зависимость продольного усилия, действующего на управляемое колесо усилия F_y от угла поперечного наклона рельефа

Продольное усилие, действующее на колесо, находится в прямой зависимости от угла наклона рельефа. При движении по внутрихозяйственным дорогам продольное усилие колеса, возникающее при наезде на препятствие, также оказывает влияние на элементы рулевого механизма увеличивая усилие с увеличением угла наклона рельефа.

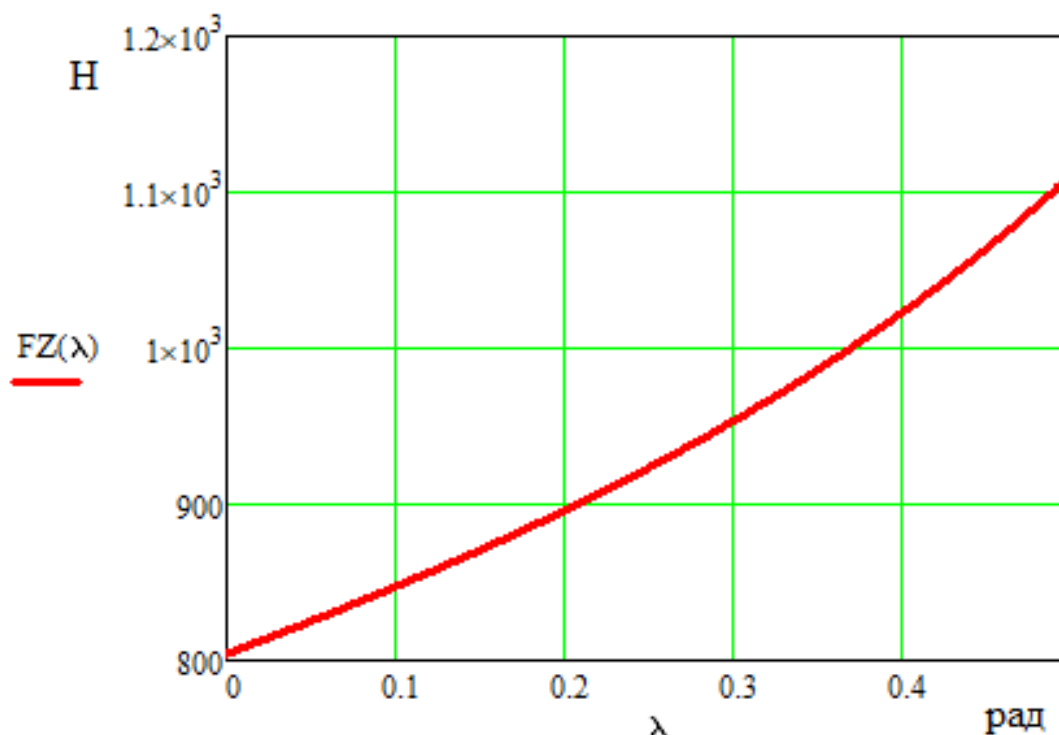


Рисунок 2.14 – Зависимость вертикального усилия F_z , действующего на управляемое колесо от угла поперечного наклона рельефа

Величина вертикального усилия определяется не только углом поперечного наклона рельефа, но и углом поворота управляемых колес. С увеличением угла наклона поперечного рельефа вертикальная нагрузка резко возрастает. Анализируя различные проекции усилия силы, действующие на колесо, можно заметить, что наибольшую величину усилия имеют вертикальная F_z и боковая F_x проекции. Так же установлено, что угол поперечного наклона рельефа влияет на усилие, действующее на колесо. При угле поворота колеса от 10 до 15 градусов величина бокового усилия составляет около 1150 Н.

2.4 Моделирование нагруженности рулевого пальца при движении по внутрихозяйственным дорогам

При маневрировании транспортного средства по внутрихозяйственным дорогам увеличивается нагрузка на рулевой механизм. Наиболее нагруженными элементами рулевого управления являются рулевые наконечники, которые

работают в условиях сложного напряженного состояния. При повороте колеса на поворотном кулаке возникает динамические моменты, которые нагружают рулевые наконечники [38, 48, 80, 98]. Величина усилия пропорциональна возникающим моментам. Величина усилия взаимодействия рычага поворотного кулака с тягой рулевого механизма определим по формуле

$$F_{p.n} = \frac{M_{пов}}{l_p} \quad (2.42)$$

где $M_{пов}$ - момент поворота колеса, Н·м;

l_p – длина поворотного рычага, м.

В процессе моделирования нагрузок рулевого наконечника в программе «SolidWorks» получены динамические изображения с зонами нагруженностей элементов рулевого наконечника. При повороте наибольшее усилие к рулевому наконечнику передается от рулевой трапеции [33, 34, 57, 80], модель взаимодействия изображена на рисунке 2.15. Анализ рисунка 2.15 показал, что при воздействии тяги происходит изгиб рулевого пальца, что приводит к увеличенной нагруженности верхней зоны шарового пальца.

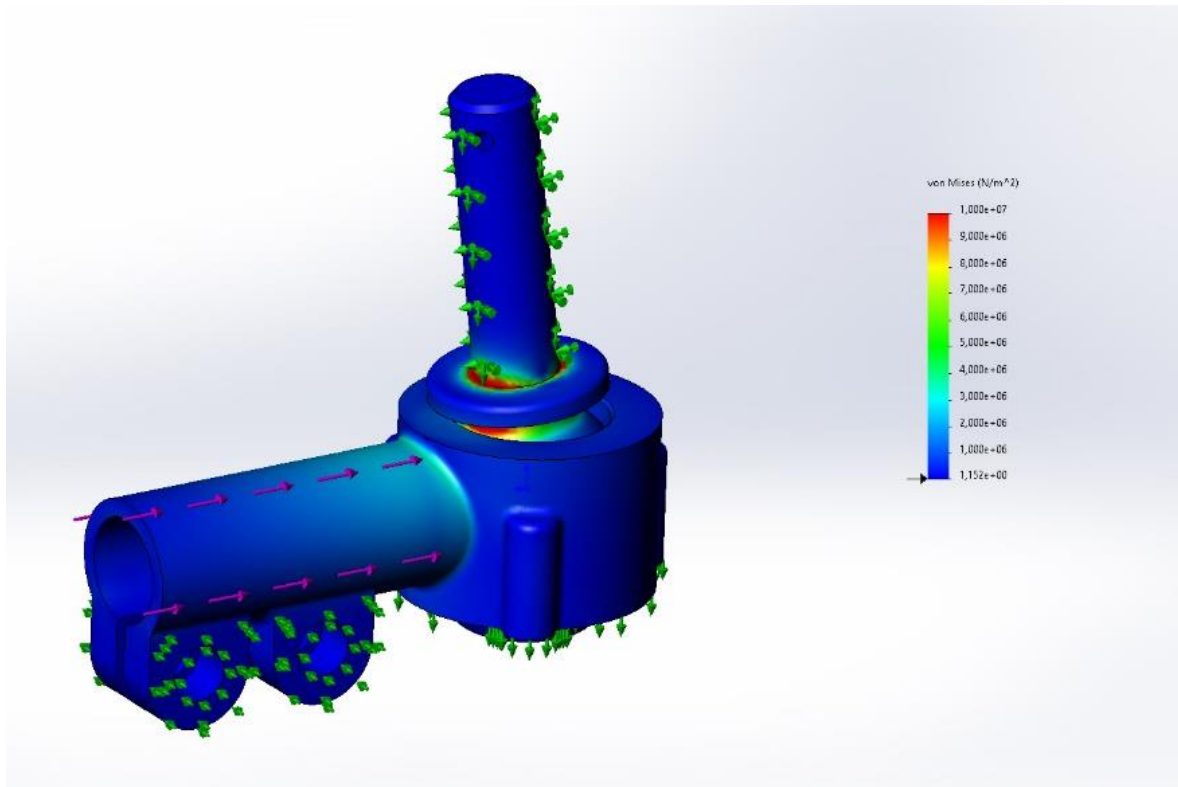


Рисунок 2.15 – Типовая модель распределения нагрузок от воздействия рулевой тяги в программе «SolidWorks»

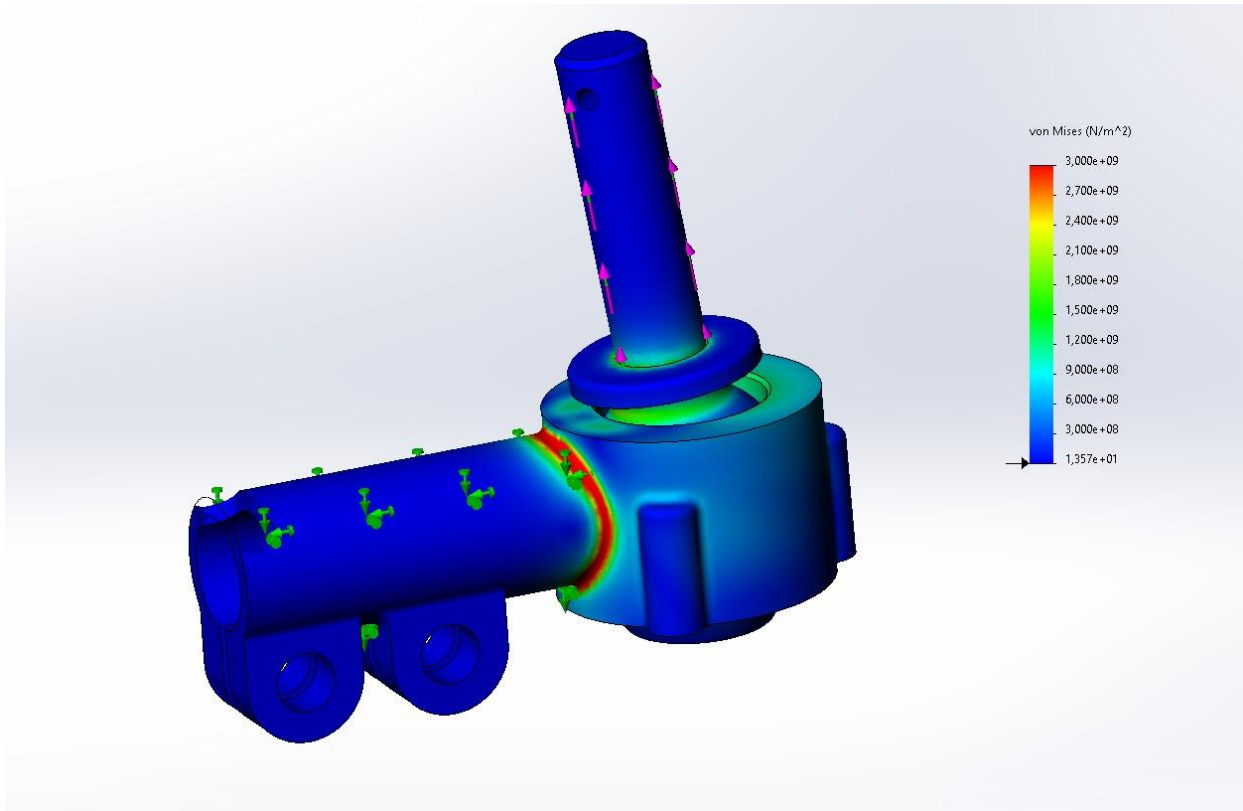
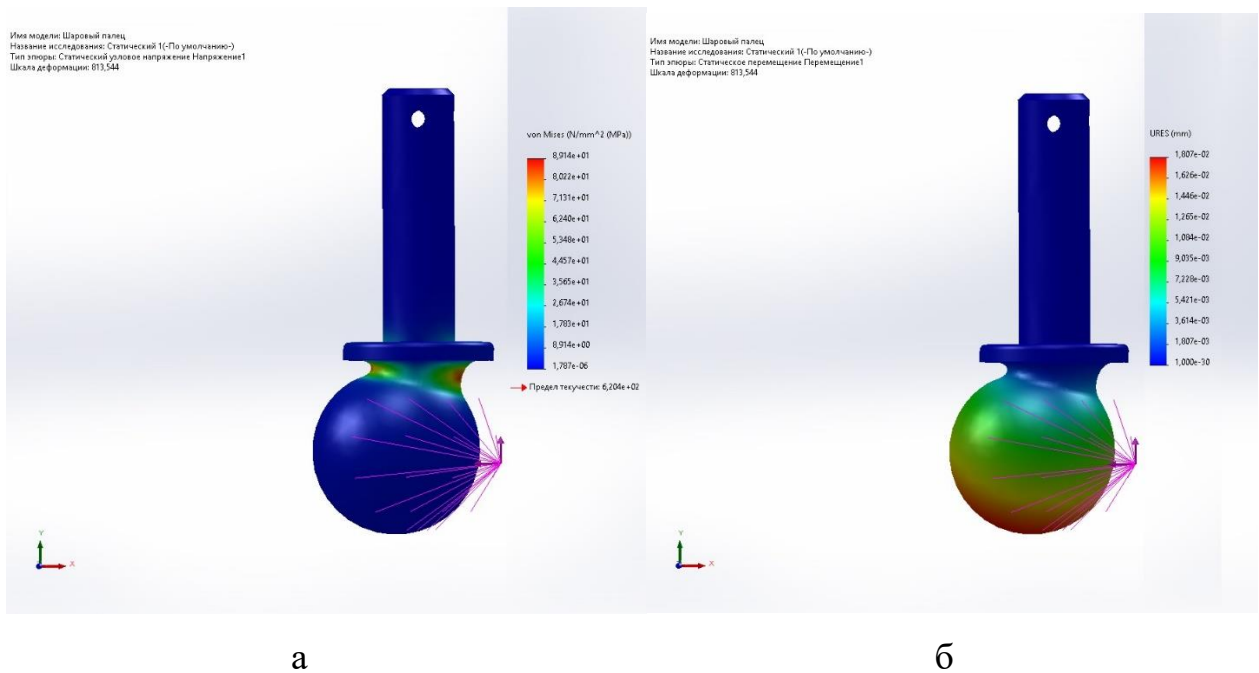


Рисунок 2.16 – Типовая модель распределения нагрузок от попадания колеса в колею, выбоину в программе «SolidWorks»

При попадании колеса в колею, выбоину характер нагрузки несколько меняется (рисунок 2.16). Анализ рисунка 2.16 показал, что наибольшее воздействие приходится на корпус рулевого наконечника, а именно на место соединения хомута с корпусом сферического шарнира [94]. Таким образом разные виды воздействия на рулевой механизм формируют различные картины нагружения рулевого наконечника.

Необходимо отметить, что наиболее нагруженным элементом является палец рулевого наконечника, что вызывает его преждевременный износ.

Рассмотрев различные виды нагружения рулевого пальца получен характер распределения усилий (рисунок 2.17).



а – растяжение с изгибом пальца, б – сжатие с изгибом пальца

Рисунок 2.17 - Типовая модель распределения усилий при повороте колеса в процессе преодоления препятствия в программе «SolidWorks»

Анализ типовых моделей распределения усилий при повороте колеса в процессе преодоления препятствия показал, что увеличение высоты препятствия приводит к повышению нагрузки при различных вариантах нагружения.

Выводы по главе 2:

1. В процессе эксплуатации важной составляющей является стиль вождения определенного водителя при преодолении естественных неровностей. Технические и организационные мероприятия способны частично компенсировать негативные факторы воздействия на рулевое управление. В то же время исходными факторами, влияющими на эксплуатацию рулевого управления, являются ускорение, скорость до и после прохода препятствий и величина препятствий.

2. Установлено, что изменения скорости при выезде из выбоины меняется более интенсивно, чем при въезде в нее. Поэтому при анализе проезда выбоин будем рассматривать выезд из выбоины так как он связан наибольшей нагрузкой

на рулевой механизм. При проезде выбоин одним из колес на значительной скорости происходит поворот колеса относительно шкворня за счет гироскопического момента. Колесо имеет значительную массу и вращаясь со значительной скоростью выполняет роль маховика, что приводит к колебаниям элементов рулевого управления.

3. Колебания вызванными различными факторами обусловлены изменением ускорения колеса. Величина ускорения при проезде выбоин носит равноускоренный характер, а при неуравновешенности масс периодически повторяющейся. В то же время наибольшую величину имеют ускорение при проезде выбоин и различных препятствий.

4. Установлено, что при динамическом воздействии на колесо ускорение колеса не меняется при различных зазорах шарниров рулевого механизма, однако при выборе зазоров увеличивается время воздействия колеса на шарнир при равноускоренном движении. Таким образом скорость взаимодействия в шарнире будет увеличиваться. С увеличением зазоров в шарнире величина коэффициента динамичности интенсивно возрастает. При величине зазора $2 \cdot 10^{-4}$ м коэффициент динамичности составляет 3,3. Таким образом с увеличением величины зазора повышается динамический коэффициент. Установлено, что увеличение динамической нагрузки ускоряет процесс износа механизмов рулевого управления.

5. Анализируя различные проекции усилия силы, действующие на колесо, можно заметить, что наибольшую величину усилия имеют вертикальная F_z и боковая F_x проекции. Так же установлено, что угол поперечного наклона рельефа влияет на усилие, действующее на колесо. При угле поворота колеса от 10 до 15 градусов величина бокового усилия составляет около 1150 Н.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА, МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

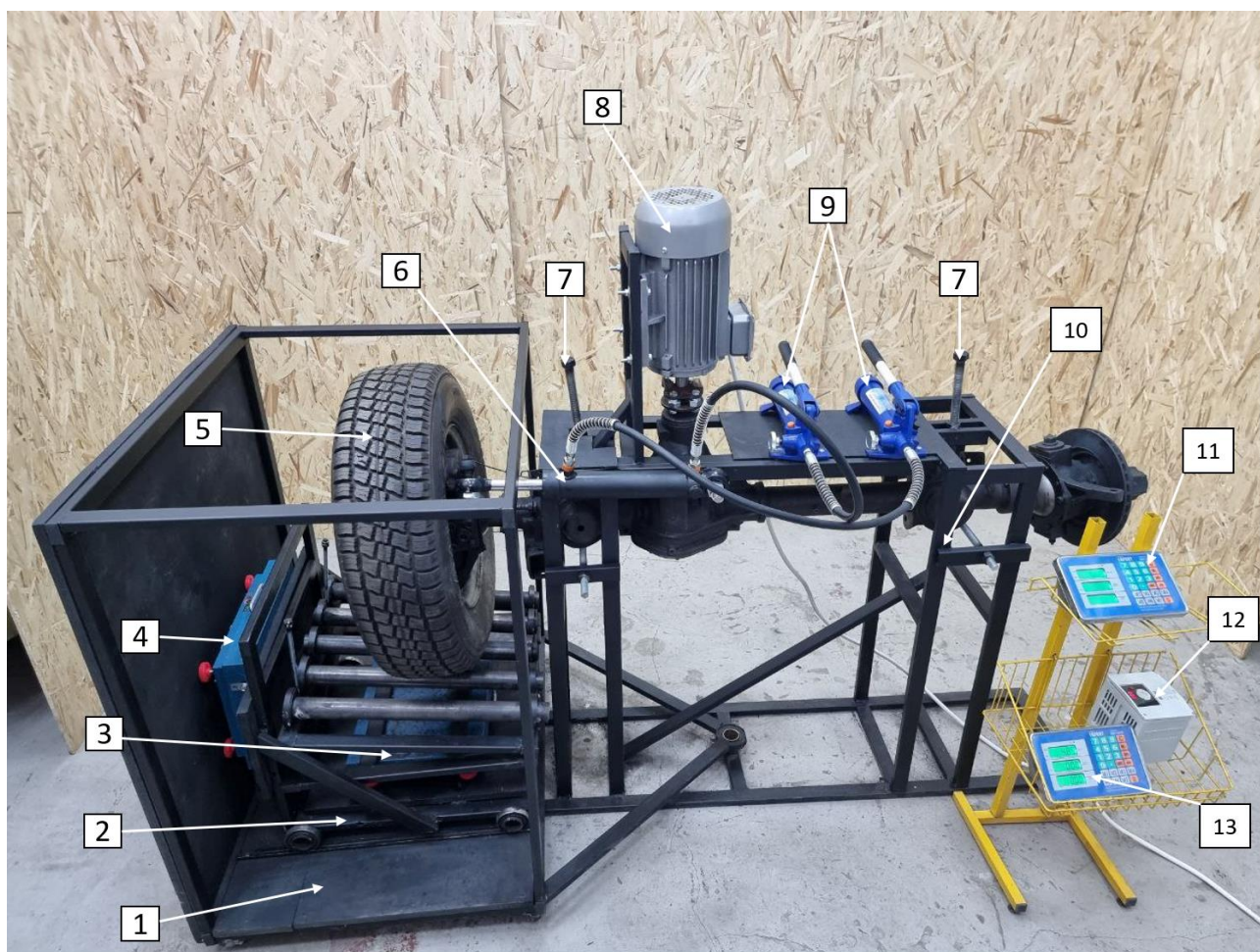
3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований включала следующие исследования:

1. Исследования силового взаимодействия элементов рулевого управления.
2. Экспериментальные исследования суммарного люфта в рулевом управлении.
3. Экспериментальные исследования углов установки управляемых колес
4. Экспериментальные исследования дисбаланса управляемых колес.
5. Полевые исследования движения автомобилей по внутрихозяйственным дорогам.
6. По результатам исследования предложить алгоритм совершенствования технической эксплуатации рулевого управления автомобилей.

3.2 Методики и результаты экспериментальных исследований по определению силового взаимодействия элементов рулевого управления

Исследования силового взаимодействия элементов рулевого управления проводили на кафедре «Технологии металлов и ремонта машин» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Для экспериментов была разработана и изготовлена лабораторная установка (рисунок 3.1) [1, 60].



1 – поворотная рама; 2 – платформа с регулируемым углом наклона;
 3 – горизонтальные весы; 4 – вертикальные весы; 5 – нагружаемое колесо;
 6 – гидроцилиндр управления углом развала; 7 – шпильки механизма
 нагружения колеса; 8 – электродвигатель; 9 – гидравлический насос управления
 гидроцилиндром; 10 – рама неподвижная; 11 – экран вертикальных весов;
 12 – частотный регулятор; 13 – экран горизонтальных весов

Рисунок 3.1 – Лабораторная установка для исследования силового взаимодействия ведущего колеса с платформой

Лабораторная установка содержит ведущий мост управляемых колес УАЗ, который приводится в движение с помощью электродвигателя (АИР-160). Для регулирования частоты вращения электродвигателя использовался частотный преобразователь (LSIS Master). Для измерения частоты вращения колеса применялся тахометр (ИО-10 № 13486). Колесо опиралось на наклонную

роликовую платформу с возможностью изменения угла поперечного наклона и угла поворота наклонной платформы относительно колеса [96, 129]. Платформа имеет возможность регистрации вертикальных и горизонтальных усилий с помощью вертикальных - 12 и горизонтальных - 11 весов (ВПН-150УБ).

С помощью электрического привода с частотным регулятором 12, устанавливается необходимая частота вращения управляемого колеса. Для обеспечения необходимого приводного усилия колеса, в соответствие с необходимой мощностью, второе колесо ведущего моста заблокировано. Наклонная платформа, расположенная под колесом, имитирует поперечные неровности дороги и позволяет устанавливать углы в диапазоне от 0 до 40 градусов [33, 34]. Для обеспечения жесткости конструкции и точной фиксации устанавливаемых узлов наклонная платформа установлена на поворотной раме 1. Для установки необходимого давления колес на наклонную платформу применяются шпильки механизма нагружения колеса 7. Угол поперечного наклона колеса устанавливается с помощью гидроцилиндра 6, оснащенный гидравлическими насосами с перепускными клапанами 9. Для установки нужного угла поперечного наклона колеса (в зависимости от марки автомобиля) применялся угломер марки (ProDigit 30). Поворотную платформу устанавливали на необходимый угол и фиксировали с помощью металлических шпилек.

На основании единичных экспериментов были установлены значимые факторы варьирования, которые представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Матрица проведения эксперимента (отрицательный угол развала колеса)

| Факторы варьирования эксперимента | | | | | Функция оптимизации | |
|-----------------------------------|--------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------------|----------------|
| Интервал варьирования | Угол наклона | | Угол поворота | | Вертикальное усилие | Боковое усилие |
| | код.зн. | дейст. зн. (град) | код.зн. | дейст. зн. (град) | дейст. зн. Н | дейст. зн. Н |
| | -1 | 10 | -1 | 5 | F_{z1} | F_{x1} |
| | 0 | 14 | 0 | 10 | F_{z2} | F_{x2} |
| | +1 | 18 | +1 | 15 | F_{z3} | F_{x3} |
| Интервал варьирования | | 4 | | 5 | | |

Эксперименты ставили в трёхкратной повторности. При реализации опытов применялся план Бокса-Бенкина. Опытные данные проверяли на достоверность с помощью критерия Фишера [88, 89].

Экспериментальное исследование проводилось в виде трехфакторного эксперимента по плану 3^2 для определения вертикального и бокового усилий взаимодействия ведущего колеса с наклонной платформой. Для обработки опытных данных использовали программу «STATISTICA V.8». В результате для вертикального усилия получено следующее уравнение регрессии (в кодированных значениях факторов).

В результате для вертикального усилия получено следующее уравнение регрессии (в кодированных значениях факторов). Для обработки опытных данных использовали программу «STATISTICA V.8». Рассмотрим усилия, действующие на колесо в зависимости от наклона рельефа и угла поворота (таблица 3.1)

Полученное уравнение регрессии вертикального усилия от наклона рельефа и угла поворота выглядит следующим образом

$$F_z = 865,7325 + 239,8545 \cdot \lambda - 112,815 \cdot \psi + 320,0513 \cdot \lambda^2 - 110,3625 \cdot \lambda \cdot \psi - 518,0906 \cdot \psi^2 \quad (3.1)$$

где F_z – вертикальное усилие колеса, Н;

ψ – угол поворота колеса;

λ – угол наклона рельефа.

Достоверность уравнения регрессии 3.1 характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,80$, коэффициент регрессии уравнения составляет $R=0,89$. Наиболее значимым фактором уравнения регрессии является угол поворота колеса. На основании уравнения регрессии построим зависимость вертикального усилия от угла наклона рельефа и угла поворота колеса (рисунок 3.2)

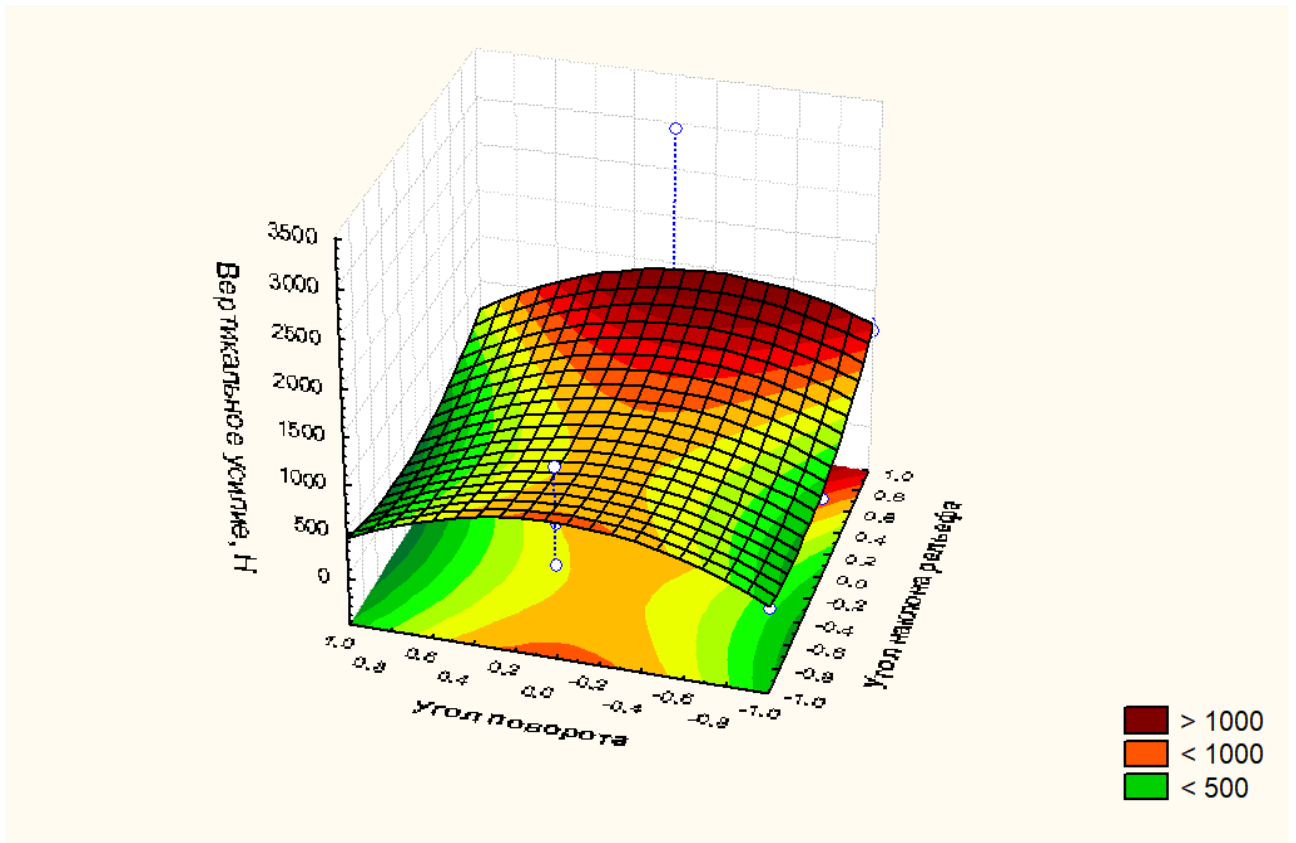


Рисунок 3.2 – Зависимость вертикального усилия от угла наклона рельефа и угла поворота колеса

Анализ рисунка 3.2 показал, что вертикальное усилие взаимодействия колеса с наклонной поверхностью в значительной мере определяется углом поворота колеса. С увеличением угла наклона рельефа вертикальное усилие взаимодействия колеса с наклонной поверхностью возрастает. Минимальное значение вертикального усилия 821 Н соответствует углу поворота колеса 10 градусов и углу наклона поперечного рельефа 12,4 градусов.

Уравнение регрессии для бокового усилия от наклона рельефа и угла поворота выглядит следующим образом

$$F_x = 1064,1397 + 221,2155 \cdot \lambda + 110,9756 \cdot \psi - 121,5214 \cdot \lambda^2 + 89,5162 \cdot \psi \cdot \lambda - 447,2747 \cdot \psi^2 \quad (3.2)$$

где F_x – боковое усилие колеса, Н;

ψ – угол поворота колеса;

λ – угол наклона рельефа.

Достоверность уравнения регрессии 3.2 характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,76$, коэффициент регрессии уравнения составляет $R=0,87$.

Наиболее значимым фактором уравнения регрессии является угол наклона рельефа. На основании уравнения регрессии построим зависимость вертикального усилия от угла наклона рельефа и угла поворота колеса (рисунок 3.3)

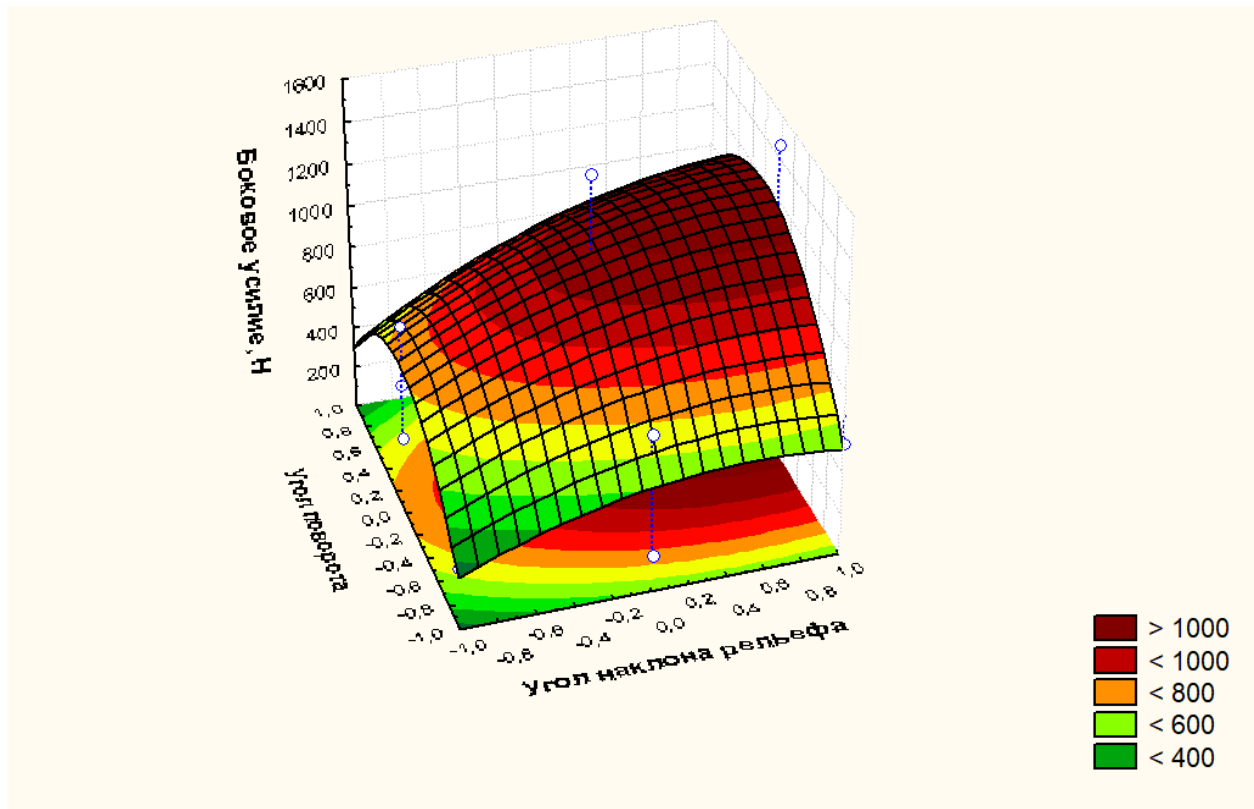


Рисунок 3.3 – Зависимость бокового усилия от угла наклона рельефа и угла поворота колеса

Анализ рисунка 3.3 показал, что боковое усилие взаимодействия колеса с наклонной поверхностью в значительной мере определяется углом наклона рельефа. С увеличением угла наклона рельефа боковое усилие колеса с поверхностью возрастает. Боковое усилие возрастает с 750Н до 1180Н. Максимальное значение бокового усилия 1180Н соответствует углу наклона поперечного рельефа 17,2 градусов и углу поворота колеса 11 градусов.

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что боковое усилие при поворотах и наезде на препятствие (наклонный рельеф) превышает значения вертикального усилия на 30,5%. Так как движение автомобиля в полевых условиях не может быть постоянно прямолинейным исходя из-за рельефа и особенностей дорожного покрытия, то водителю постоянно приходится маневрировать для корректировки направления движения. В процессе исследования зависимостей углов поворота колеса и наклона рельефа при преодолении препятствий и неровностей ведет к увеличению нагрузки на рулевой механизм, что ведет к увеличению износа шарниров рулевого управления (пальцев рулевых наконечников), тем самым снижая долговечность рулевого управления.

Величина усилий в рулевом управлении также существенно скорости движения автомобиля. При увеличении скорости движения транспортного средства несколько меняется характер соотношения боковых и вертикальных нагрузок, действующих на колесо. Для оценки влияния частоты вращения колес на усилия взаимодействия колеса с поперечной наклонной поверхностью в условиях поворота, были проведены дополнительные экспериментальные исследования. В качестве варьируемых факторов выбирались средние значения из матрицы планирования. Зависимость уменьшения вертикального усилия от скорости колеса представлено уравнением

$$F_z = 25,751 V^2 - 185,16 V + 712,45 \quad (3.3)$$

где F_z – вертикальное усилие колеса, Н;

V – окружная скорость движения колеса, км/ч.

Соответствие уравнения опытным данным характеризуется высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,8397$. Анализ опытных данных показал, что вертикальное усилие снижается при увеличении скорости движения колес транспортного средства. Зависимость бокового усилия от окружной скорости движения колеса представлено уравнением

$$F_x = 18,394V^2 - 39,485V + 606,99 \quad (3.4)$$

где F_x – боковое усилие колеса, Н;

V – окружная скорость движения колеса, км/ч.

Соответствие уравнения опытным данным характеризуется высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9984$. Анализ опытных данных показал, что боковое усилие увеличивается при повышении скорости движения колес транспортного средства. Таким образом увеличение скорости транспортного средства в процессе движения по деформируемому грунту будет способствовать снижению деформации почвы и соответственно уменьшению сопротивлению движения.

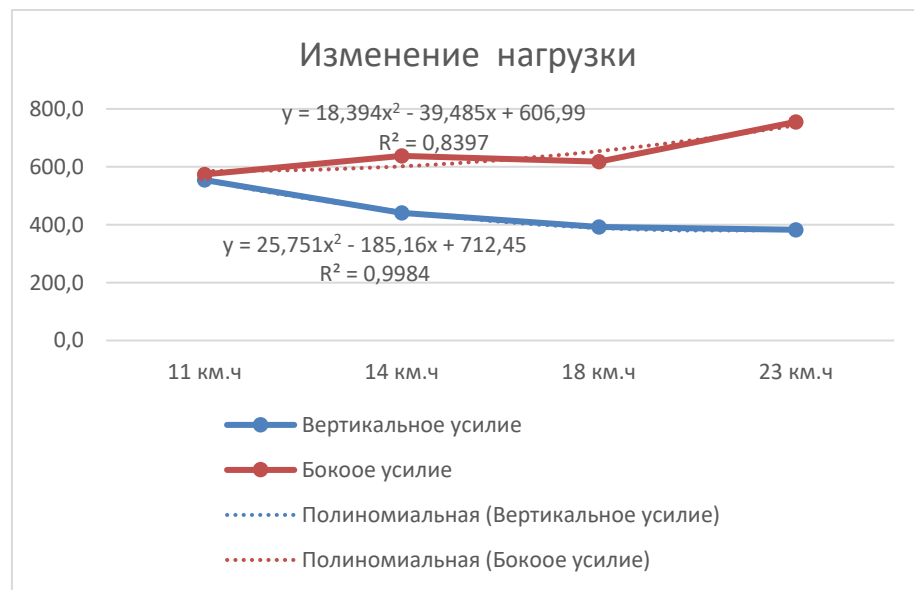


Рисунок 3.4 – Зависимость вертикального и бокового усилия от скорости движения колеса

Анализ рисунка 3.4 показал, что повышение скорости движения транспортного средства с 11 км/ч до 23 км/ч, способствует уменьшению вертикальных усилий (давление на грунт) с 570 Н до 400 Н и увеличению

боковых усилий с 590 Н до 760 Н, тем самым увеличивая нагрузку на элементы рулевого управления при движении, по дорогам третьей и четвертой категории.

3.3 Методика и результаты экспериментальных исследований суммарного люфта в рулевом управлении

Для исключения внезапных поломок и примерного прогнозирования замены пальцев рулевых наконечников следует использовать прибор ИСЛ-М для измерения суммарного люфта в рулевом управлении в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51709 «Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию и методы проверки» и приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 6 декабря 2011 г. N 1677 «Об утверждении основных технических характеристик средств технического диагностирования и их перечня».

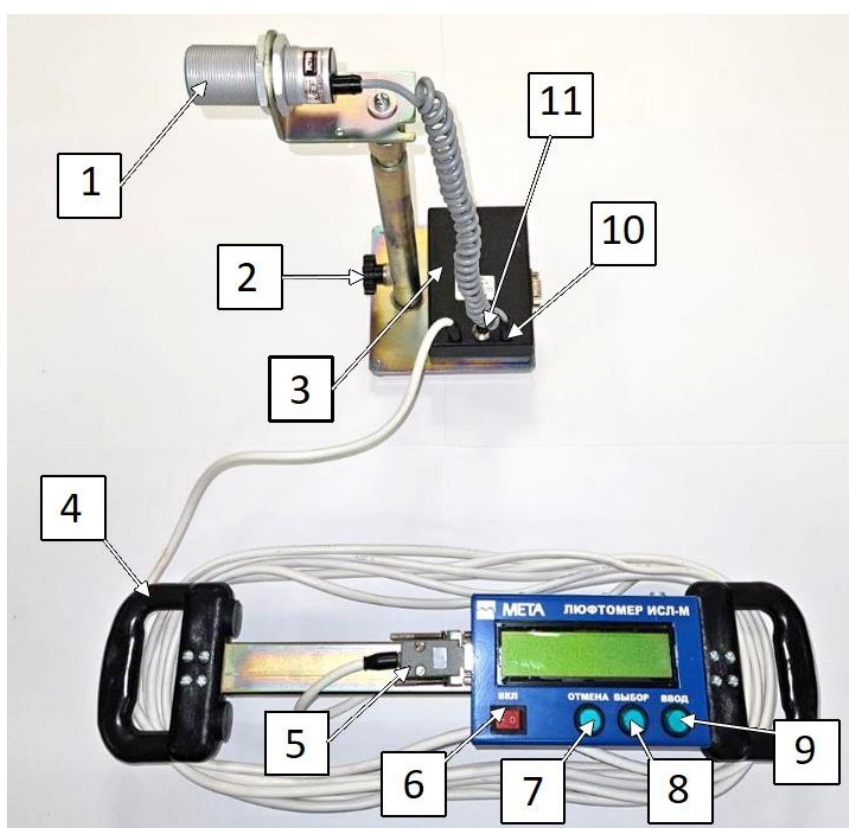
Основные неисправности рулевого управления можно диагностировать с помощью суммарного люфта. Суммарный люфт характеризуется свободным движением в механизмах рулевого управления при повороте рулевого колеса. Неисправностями рулевого управления считают увеличенный люфт рулевого колеса, увеличенное усилие при вращении рулевого колеса, шум и стуки в рулевом управлении, угловые самопроизвольные колебания управляемых колес и нарушение курсовой устойчивости.

Основными причинами увеличенного люфта является увеличение зазоров в рулевых наконечниках и шарнирах рулевого механизма. Причинами люфта также могут быть ослабления болтов рулевого механизма, износ зацепления в червячном механизме, увеличение зазора в подшипниках ступиц управляемых колес и другие. Данные неисправности могут сопровождаться посторонними шумами и стуками в рулевом управлении [112].

Основными причинами увеличенного усилия при вращении рулевого колеса является деформация элементов рулевого управления, нарушение установки угла схождения управляемых колес, не соответствие давления в

шинах дорожным условиям. Основными причинами угловых самопроизвольных колебаний управляемых колес являются нарушения балансировки колес, увеличение суммарного люфта поворота колес, износ подшипников ступиц управляемых колес, ослабление крепления резьбовых соединений рулевого механизма. Также перечисленные неисправности являются причинами нарушения курсовой устойчивости.

Определение суммарного люфта позволяет получить комплексную оценку технического состояния рулевого управления автомобиля. Для определения суммарного люфта используется прибор ИСЛ-М представленный на рисунке 3.5



1 – индуктивный преобразователь перемещения; 2 – барашек для фиксации высоты; 3 – блок датчика; 4 – захват; 5 – разъем для подключения датчика движения колеса; 6 – выключатель напряжения питания; 7 – кнопка ОТМЕНА; 8 – кнопка ВЫБОР; 9 – кнопка ВВОД; 10 – индикатор правильности установки ДДК; 11 – разъем для подключения к бортовой сети автомобиля

Рисунок 3.5 – Общий вид прибора ИСЛ-М [85, 92] для измерения суммарного люфта

Измерение угла поворота управляемых колес происходит с помощью датчика гироскопа на основе сигнала индуктивного датчика у диска колеса при холостом ходу вращения рулевого колеса в разных направлениях. Датчик движения колеса (ДДК) закреплен на металлическом штативе выполненного в виде телескопических трубок.

Для установки датчика на уровне оси колеса (для больших колес допускается установка ниже оси, но не более половины радиуса диска колеса) имеются фиксаторы высоты штатива. Для использования колес из алюминиевых сплавов и других не металлических материалов, используется стальной фиксатор для обеспечения необходимой точности измерений. Установка датчика движения колеса в рабочее положение контролируется с помощью показаний приборного блока измерителя суммарного люфта ИСЛ-М [85] (рисунок 3.6).



- 1 – захват; 2 – разъем для подключения датчика движения колеса;
 3 – выключатель напряжения питания; 4 – кнопка ОТМЕНА;
 5 – кнопка ВЫБОР; 6 – кнопка ВВОД

Рисунок 3.6 – Общий вид приборного блока измерителя суммарного люфта ИСЛ-М [85]

Приборный блок измерителя суммарного люфта ИСЛ-М крепится на рулевое колесо с помощью телескопического захвата с пружинным механизмом. Приборный блок соединен с индукционным датчиком и аккумуляторной батареей с помощью кабеля. На корпусе приборного блока размещен цифровой экран для отображения сигналов микропроцессорного преобразователя. При измерении суммарного люфта категорически запрещается перемещение приборного блока относительно колеса.

Порядок измерения суммарного люфта управляемых колес [85]:

1. Очистить обод управляемого колеса.
2. Установить индукционный датчик на уровне оси колеса (в случае необходимости использовать стальной фиксатор).
3. Установить приборный блок измерителя суммарного люфта ИСЛ-М на рулевое колесо с помощью телескопического захвата с пружинным механизмом.
4. Подключить кабель индукционного датчика к приборному блоку с аккумулятором.
5. Проверить правильность установки индукционного датчика.
6. Провести измерения вращая руль в интервале срабатывания индуктивного датчика движения колеса (измерение угла происходит до момента пока колеса не начнет движение). Измерения проводятся с трехкратной повторностью.
7. Сравнить полученные показания с нормативными значениями.

В результате исследований суммарного люфта автомобилей получены средние значения люфта автомобилей семейства УАЗ с различными пробегами после очередного ТО [92]. Результаты исследований приведены в приложении Б. По полученным данным построены регрессионные уравнения на основе различных математических моделей (таблица 3.2)

Таблица 3.2 – Анализ регрессионных уравнений

| Вид математической модели | Уравнение регрессии | Коэффициент детерминации |
|----------------------------|--|--------------------------|
| Линейная | $y = 0,4688x + 1,6069$ | $R^2 = 0,9583$ |
| Экспоненциальная | $y = 2,0148e^{0,1242x}$ | $R^2 = 0,9534$ |
| Полиномиальная (степень 2) | $y = 0,0064x^2 + 0,4051x + 1,7238$ | $R^2 = 0,9592$ |
| Полиномиальная (степень 3) | $y = -0,0084x^3 + 0,1323x^2 - 0,1253x + 2,2777$ | $R^2 = 0,9665$ |
| Полиномиальная (степень 4) | $y = 0,0033x^4 - 0,0751x^3 + 0,5779x^2 - 1,2453x + 3,0956$ | $R^2 = 0,9712$ |

На основании анализа регрессионных уравнений установлено, что наибольшую адекватность опытным данным имеет полиномиальная модель 4й степени (рисунок 3.7).

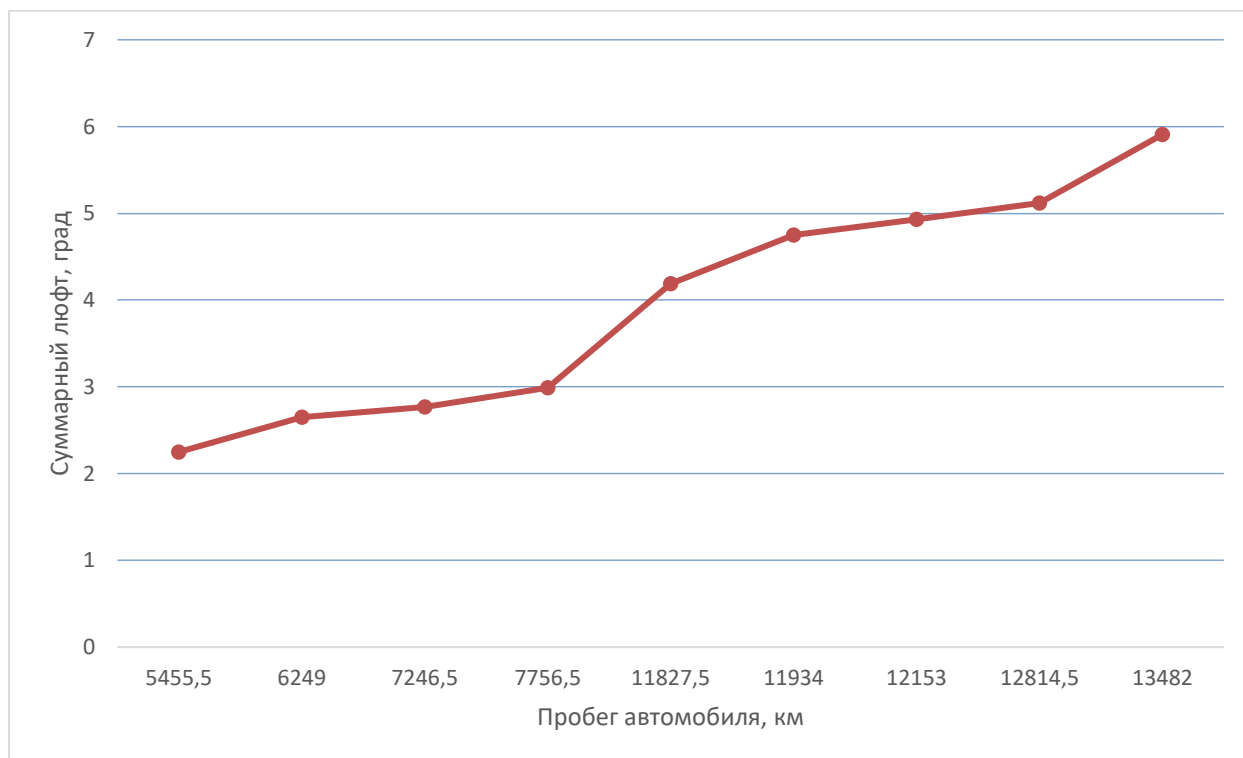


Рисунок 3.7 – Зависимость суммарного люфта от пробега автомобилей между очередными ТО

Из рисунка видно, что величина суммарного люфта определяется величиной пробега автомобиля, а также условиями эксплуатации различных машин. Следует отметить, что условия эксплуатации могут значительно влиять на износ элементов рулевого механизма, который соответствует увеличению суммарного люфта. Среднее величина суммарного люфта исследуемых автомобилей составляет 3,95 градуса при среднем пробеге 9879,8 километров. Поэтому при эксплуатации автомобилей необходимо проводить диагностику чаще чем заявлено заводом изготовителем (каждое ТО), для оценки технического состояния механизмов рулевого управления и предупреждения внезапных поломок [52, 68, 92].

Производить измерения на ежедневной основе не целесообразно, так как динамика износа или нарушения в работе элементов рулевого управления, будет малозаметна. Учитывая, что средний пробег автомобилей данной марки в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области составляет 13700 км в месяц, предлагается проводить диагностирование суммарного люфта рулевого управления не реже одного раза в месяц. При выявлении неисправности у предприятия будет время для устранения данной поломки. В тоже время при выявлении поломки перед рейсом малое количество времени затруднит оперативное решение данной задачи. При проведении исследования выявлено, что данная процедура с учетом выполнения всех элементов в соответствии с инструкцией, занимает 2 минуты 52 секунд. Данного отрезка времени достаточно, чтобы понять в каком диапазоне находится суммарный люфт в рулевом управлении.

3.4 Методика и результаты экспериментальных исследований углов установки управляемых колес

При повышении нагрузки в рулевом управлении автомобиля следует отметить, что наиболее уязвимое место является рулевые наконечники тяг рулевого управления. При тяжелых условиях эксплуатации в период уборочных

мероприятий и обеспечения сельскохозяйственных работ, спрогнозировать четкую периодичность замены рулевых наконечников и обслуживание рулевого управления в целом становится проблематично. Так как осмотр и обслуживание в периоды заявленных заводом изготовителем не учитывают все факторы и условия эксплуатации автомобиля. Как следствие износ или разрушение таких важных элементов рулевого управления, как рулевые наконечники, может быть внезапным и тяжело прогнозируем [6, 56, 113].

При несвоевременном обслуживании рулевого управления, а именно контроля допустимого зазора пальцев в рулевых наконечниках рулевого управления автомобилей УАЗ, происходит самопроизвольное изменения схождения управляемых колес. При чем колеса будут изменять схождение каждое по-своему в зависимости с какой стороны более изношен рулевой наконечник. Для исследований углов установки управляемых колес применялся стенд марки «Техновектор 7» (рисунок 3.8).



1 – видеокамеры; 2 – Т-образная стойка, закреплённая на компьютерной стойке;
3 – компьютерная стойка

Рисунок 3.8 – Общий вид 3D стенда сход-развал «Техновектор 7»

Стенд «Техновектор7» предназначен для проведения компьютерной диагностики углов развала колес, углов суммарного схождения управляемых колес, углов продольного и поперечного наклона шкворня, углов поворота управляемых колес, а также углов установки задних колес и углов симметрии.

Стенд включает в себя 4 видеокамеры установленных справа и слева от автомобиля и 4 мишеней с контрастным рисунком (рисунок 3.9)



1 – Колёсные адаптеры (захваты); 2 – передние поворотные платформы;
3 – измерительные мишени

Рисунок 3.9 – Общий вид мишеней с контрастным рисунком 3D стенда
«Техновектор 7»

Измерение углов установки колес производится на основе машинного зрения. Программное обеспечение стенда позволяет в режиме реального времени отображать изменение регулируемых параметров. Перед началом измерений исследуемый автомобиль помещается на платформу так, чтобы он, попал в поле видимости камер. На управляемые колеса с помощью захватов

устанавливаются мишени с контрастным рисунком при этом необходимо компенсировать биение дисков. Камеры считывают изображение для получения данных о правильном расположении мишеней. Технологии 3D моделирования с высокой точностью позволяют вычислить и показать наиболее важные углы установки управляемых колес. Получение данных происходит в непрерывном потоке с отображением информации в реальном времени. Для ускорения работы оператора по определению и регулировке заявленных параметров в базу данных программного обеспечения внесен широкий объем данных автомобилей разных производителей. Порядок диагностирования транспортного средства устанавливает программное обеспечение:

1. Подготовка автомобиля и регулирование давления в шинах.
2. Установить мишени на колеса и компенсировать биение диска (прокатом автомобиля).
3. Актуализация автомобиля в программном обеспечении стенда.
4. Центровка и крепление руля.
5. Предварительное снятие показателей. Сравнить полученные показания с нормативными значениями.
6. Регулировка углов установки управляемых колес.
7. Сравнить итоговые показания с нормативными значениями.

При проведении диагностики и регулировании углов установки управляемых колес на стенде «Техновектор 7» используется 3D интерфейс (рисунок 3.10).

На стенде проведены исследования углов установки колес автомобилей хозяйства ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. Результаты измерений представлены в приложении В. На основе опытных данных построен график зависимости суммарного схождения управляемых колес от величины пробега (рисунок 3.11).



Рисунок 3.10 – Общий вид интерфейса программного обеспечения 3D стенда «Техновектор 7»

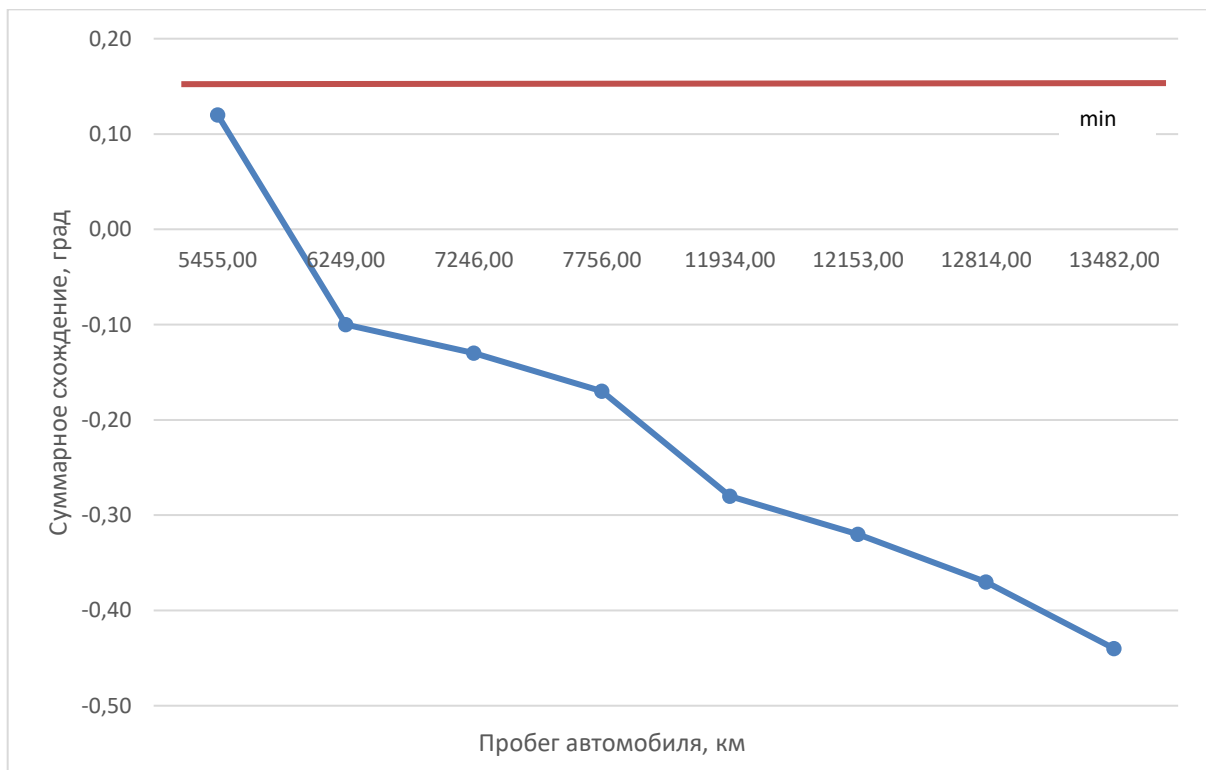


Рисунок 3.12 – Зависимость суммарного схождения управляемых колес от величины пробега

Анализ рисунка показывает, что изменение углов установки колес в значительной мере связано с условиями эксплуатации транспортного средства. Таким образом, суммарное схождение управляемых колес в значительной мере зависит от образования люфтов в элементах рулевого управления. С увеличением пробега величина схождения управляемых колес меняется на 0,47 - 0,52 градусов при среднем пробеге 13000 км.

3.5 Методика и результаты экспериментальных исследований дисбаланса управляемых колес

При проведении сезонного обслуживания происходит замена шин по сезону, балансировка при этом существенно влияет на воздействие неуравновешенности колеса на рулевое управление при эксплуатации. За балансировку колеса отвечают грузы по 5 г устанавливаемые на внутреннюю или наружную часть диска. При эксплуатации автомобиля в тяжелых дорожных и погодных условиях возможно налипание грязи, деформация диска и отделение грузов может способствовать повышенной нагрузке на элементы рулевого управления. Благодаря многоуровневому демпфированию внедорожных автомобилей, вибрация и биения колес тяжело диагностируемы водителем в процессе движения. С учетом эксплуатации по деформируемым грунтам и дорогам 3й категории водитель не сразу определит появившуюся вибрацию в рулевом механизме. Таким образом процесс разрушения элементов рулевого управления только ускорится.

Устранение дисбаланса колес проводили на балансировочном станке модели СВ1960В. Общий вид балансировочного станка представлен на рисунке 3.12.

Технические характеристики балансировочного станка «СВ1960В» представлены в приложении Г. Рабочее место оператора для балансировки колес включает балансировочный станок с панелью управления, 4 центрирующих конуса, кронциркуль, быстросъемная гайка, клещи-молоток. Дисбаланс колес

определяют на основе показаний электронного пульта управления. Перед началом измерений производят настройку и калибровку балансировочного станка с колесом. Диск колеса предварительно очищают щеткой от прилипшей грязи, удаляют ранее установленные грузы и центруют на приводном валу с помощью конуса и гайки. Для измерения размеров диска применяют кронциркуль, диаметр диска определяют на основании маркировки шины. При диагностике колеса определяются дисбалансы с внутренней и наружной стороны колеса и углы их расположения. Место установки груза определяют с помощью индикатора на панели управления путем прокрутки колеса до нужного положения. После установки грузов необходимой величины производят контрольную проверку колеса, при которой величина дисбаланса не превышает допустимого значения.



Рисунок 3.12 – Общий вид балансировочного станка «СВ1960В»

Порядок балансировки колес транспортного средства производится следующим образом:

1. Подготовить колесо, очистив его от грязи и установив давление в шинах в соответствии с нормативными значениями.
2. Установить колесо на балансировочный станок с помощью конуса и провести центровку.
3. Актуализация параметров колеса в программном обеспечении балансировочного станка.
4. Предварительное снятие показателей дисбаланса колеса. Сравнить полученные показания с нормативными значениями.
5. Установка грузов необходимой величины.
6. Контрольная проверка дисбаланса колеса. Сравнить итоговые показания с допустимыми значениями.

Допустимый дисбаланс колеса составляет 25,4 Н·мм, что соответствует массе корректируемого грузика 15 грамм на ободе колеса R16. Массу корректирующих грузиков с одной из сторон диска не рекомендуется превышать более 80 г.

На балансировочном станке «СВ1960В» проведены исследования дисбаланса колес автомобилей хозяйства ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. Результаты измерений представлены в приложении Д. На основе опытных данных построена гистограмма зависимости дисбаланса колес автомобилей (рисунок 3.13).

Анализ гистограммы показал, что среднее значение неуравновешенных масс (дисбаланса) с внутренней стороны составляет 25,47 грамм, а с внешней стороны 24,37 грамм при пробеге 13700 км. При очистке дисков колес выявлено значительное количество загрязнений, что может существенно влиять на величину дисбаланса. Водитель по окончании рейса по бездорожью в обязательном порядке должен очистить колеса от налипшей грязи.

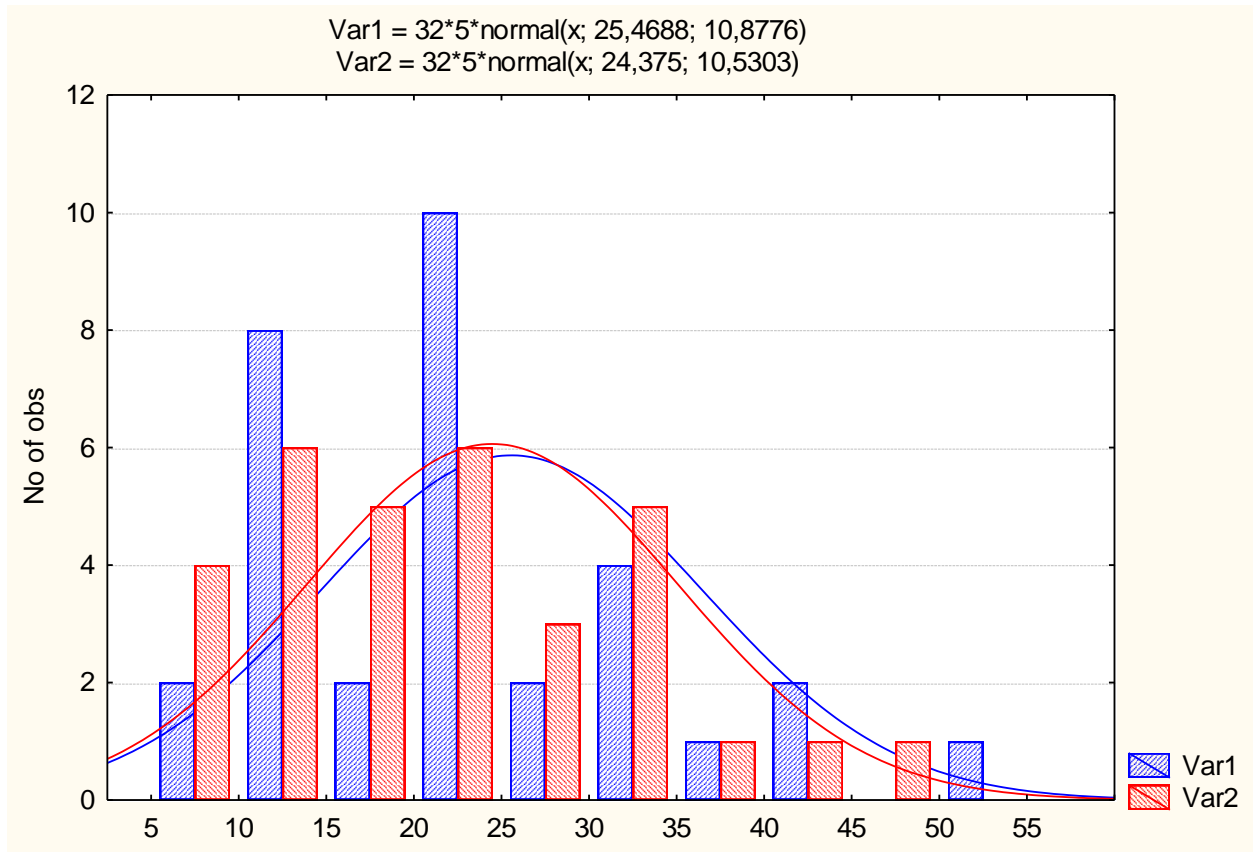


Рисунок 3.13 – Гистограмма распределения значений неуравновешенных масс (дисбаланса) колес автомобилей

Величина неуравновешенных масс зависит от износа шин и деформации дисков вследствие взаимодействия с дорожным покрытием третьей и четвёртой категории. Таким образом для снижения нагрузки на рулевой механизм необходимо оценивать возможное влияние дисбаланса колес в процессе эксплуатации автомобиля. Учитывая, что балансировка колес проводится, как правило при сезонном обслуживании и не учитывает налипание различных отложений на диск колеса необходимо использовать комплексные методы оценки состояния рулевого управления – измерение суммарного люфта.

3.6 Методики и результаты экспериментальных исследований движения автомобилей по внутрихозяйственным дорогам

Рельеф микронеровностей поля определяли наложением нивелирной телескопической рейки на поверхность поля. Через равные промежутки

размером 0,2 м, определяли расстояние от линейки до поверхности поля с точностью 0,001 м (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 - Измерение рельефа почвы после проезда сельскохозяйственной техники

На основании полученных данных, был построен график зависимости глубины колеи после проезда сельскохозяйственной техники (рисунок 3.15).

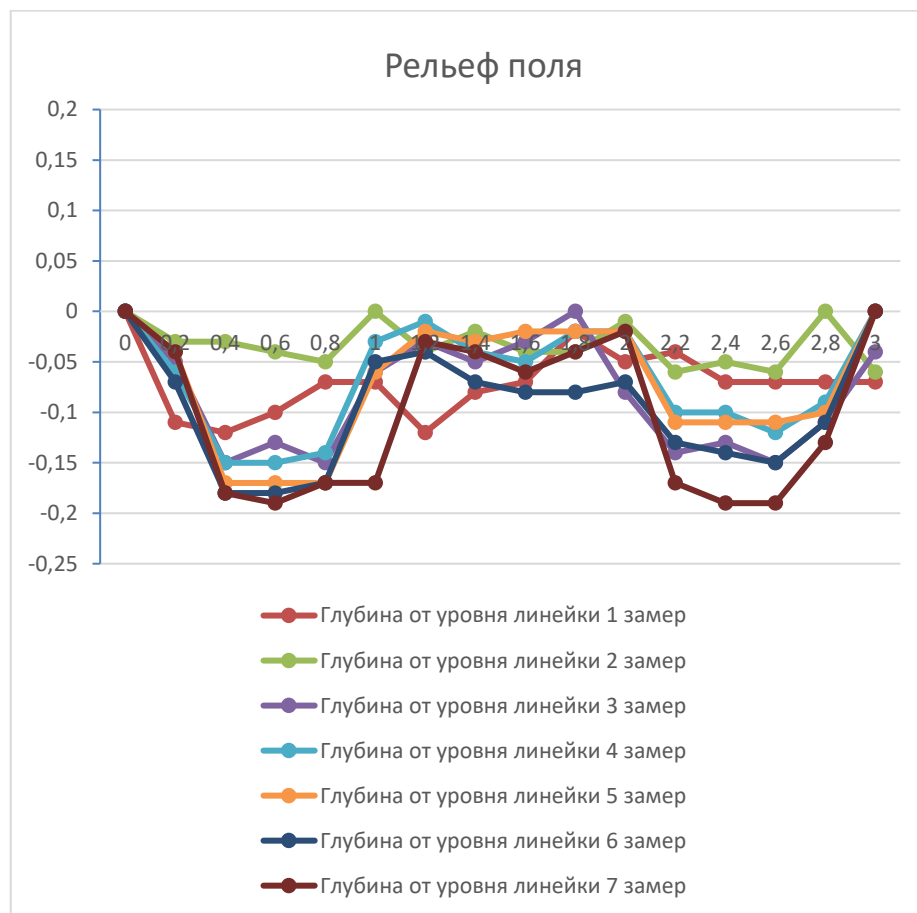


Рисунок 3.15 - Зависимость глубины колеи после проезда сельскохозяйственной техники

Анализ рисунка показал, что наибольшая глубина колеи составляет 0,19 м, и определяется количеством проездов по данному участку поля, а также влажностью и плотностью почвы. Образованная колея препятствует маневрированию сельскохозяйственной техники в процессе движения, способствует скапливанию влаги и может привести к буксованию и затруднению движения.

Изучения возникновения различной глубины колеи, позволило оценить частоту случаев возникновения значений различной глубины (рисунок 3.16).

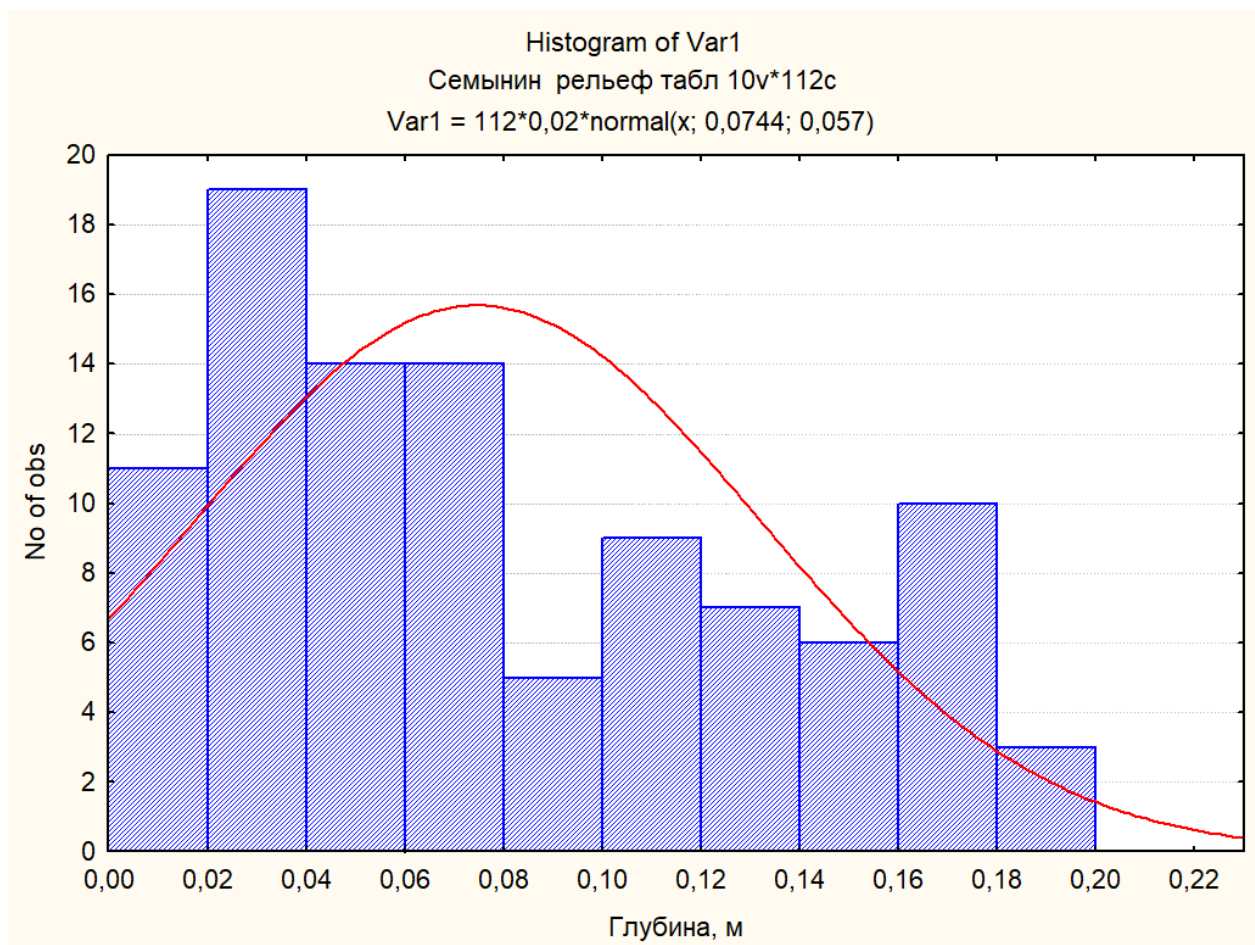


Рисунок 3.16 – Частота возникновения значений различной глубины микрорельефа почвы

Анализ рисунка 3.17 показал, что среднее значение глубины микрорельефа почвы составляет 0,074 м. В то же время образование колеи более 0.15 м встречается достаточно часто и затрудняет маневрирование

сельскохозяйственной техники. Следует отметить, что наибольшее затруднение при маневрировании испытывает груженная сельскохозяйственная техника, что снижает производительность уборочно-транспортного процесса.

Важным показателем при маневрировании является угол въезда на различные препятствия: бровка поля, гряды, колея от предыдущих проездов и другие виды микрорельефа [95, 98, 109]. Для исследования углов въезда на различные препятствия использовали угломер марки ADA AngleMeter 45 A00408. Особенностью угломера является возможность установки одной из линеек по уровню, а с помощью второй линейки определяли максимальные углы поперечных неровностей (рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Измерение углов поперечных неровностей (колеи)

Измерения проводили в трехкратной повторности на различных участках маршрута транспортировки сельскохозяйственной продукции. Результаты замеров обобщались, определялись наиболее типичные формы колеи. Полученные результаты обрабатывались с помощью программы «Statistica v 8» (рисунок 3.18).

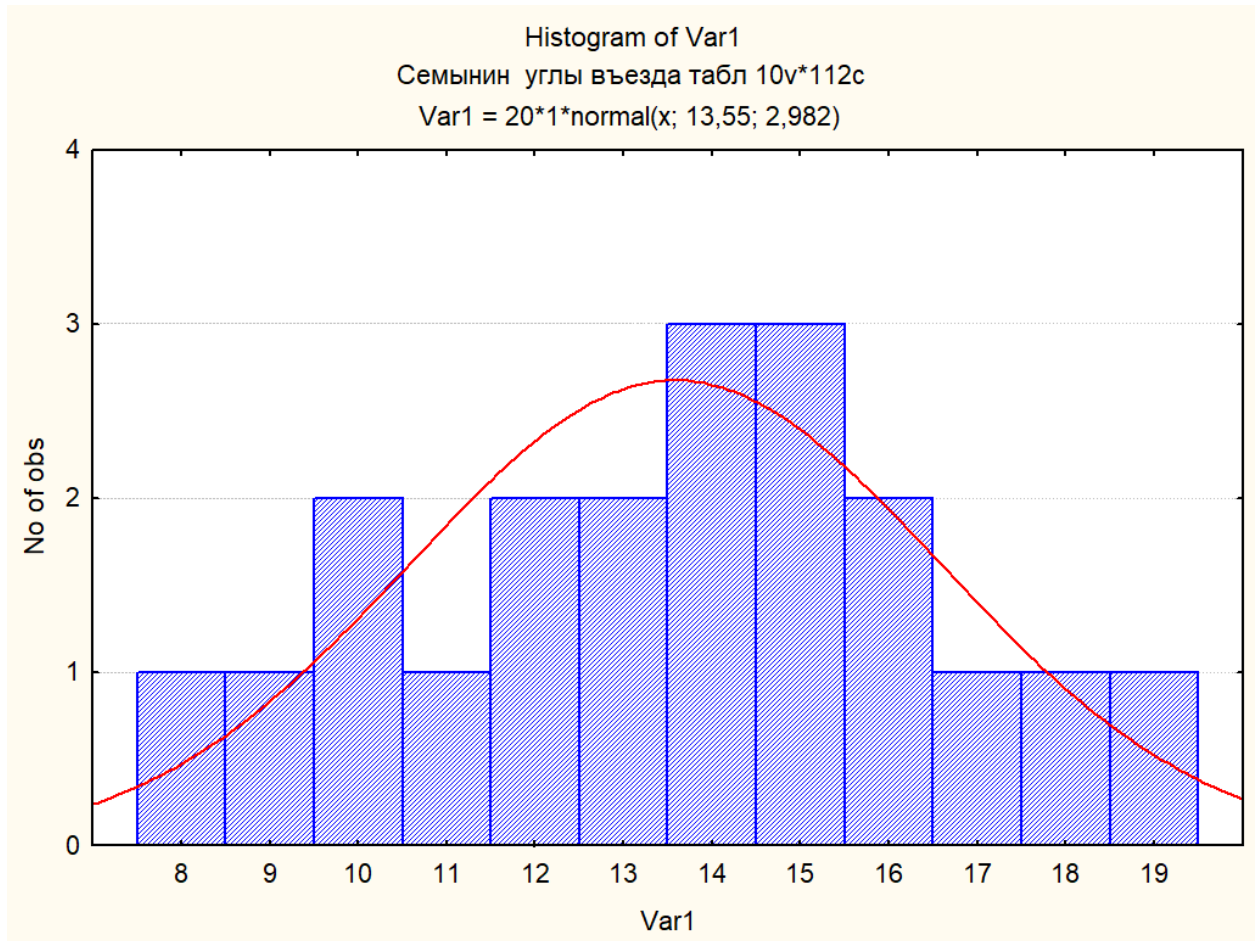


Рисунок 3.18 – Величина углов поперечных неровностей (колеи)

Анализ рисунка 3.18 показал, что медианным значением угла поперечных неровностей является 13,55 градусов. Анализ данных полевых исследований углов поперечных неровностей показал, что наиболее часто встречается значения углов поперечных неровностей от 10 до 20 градусов. Угол поперечных неровностей будет определять маневренность транспортного средства, а также величину буксования при движении по деформируемому грунту.

«Для проведения экспериментальных исследований были использованы земли сельскохозяйственного назначения с черноземным грунтом. Влажность грунта варьировалась в диапазоне 22-27% за счет естественных погодных условий.

Испытания проводились для трех типов автомобилей:

Автомобиль 1 - заднеприводный

Автомобиль 2 - полноприводный

Автомобиль 3 - переднеприводный

Все автомобили были оборудованы шинами для бездорожья. Давление в шинах поддерживалось в соответствии с рекомендациями производителей для данного типа покрытия. Была обеспечена оптимальная загрузка.

Для оценки управляемости автомобилей выполнялись следующие испытания:

Разгон по прямой до скорости 60 км/ч с последующим экстренным торможением. Замерялись тормозной путь, отклонение траектории движения и устойчивость автомобиля при торможении [8].

Вход в поворот радиусом 50 метров на скоростях 30, 40 и 50 км/ч с фиксацией траектории движения и поперечного ускорения.

Змейка - прохождение слалома между конусами с шагом 30 метров на скоростях 30 и 40 км/ч. Оценивалась плавность прохождения и отклонение от заданной траектории.

Круговой маневр - движение по кругу радиусом 25 метров с постоянной скоростью 20 км/ч. Измерялся радиус траектории и угол поворота управляемых колес.

Прохождение испытательного участка с выбоинами и неровностями грунта, глубокой колеей (рисунок 3.20). Максимальные углы въезда и неровностей составляли около 14-15°. Глубина колеи на поле и грунтовых дорогах составляла от 0,05 м до 0,17м. Твердость почвы варьировалась около 1200-1600кПа. Почвенные условия при проведении исследований приведены в таблице 3.3.

Оценивались колебания кузова, устойчивость и плавность движения. При проведении экспериментальных испытаний на грунтовом полигоне одним из важных аспектов являлось исследование перераспределения вертикальных нагрузок между колесами автомобилей при движении по неровной деформируемой поверхности. При прохождении подготовленного участка с неровностями и выбоинами регистрировалась динамика нагрузок на все колеса автомобиля.

Таблица 3.3 - характеристика свойств почвы в период уборки картофеля

| | |
|---|--|
| Показатель | Дерново-подзолистые почвы |
| Содержание гумуса | 1-2% |
| Кислотность (рН) | 3,5-5,5 |
| Плотность | 1,4-1,6 г/см ³ |
| Влажность | Избыточная |
| Структура | Мелкоагрегатная |
| Рельеф | Холмистый |
| Тепловой режим | Медленное прогревание |
| Водный режим | Повышенное увлажнение |
| Особенности обработки | Трудно обрабатываются из-за переувлажнения |
| Пригодность для механизированной уборки | Средняя |



Рисунок 3.19 – Испытательный участок с выбоинами, глубокой колеей и неровностями грунта

На основе этих данных рассчитывались амплитуды и частоты колебаний вертикальных нагрузок для каждого колеса при движении с постоянной скоростью 20-50 км/ч.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались с применением методов математической статистики. Были рассчитаны средние значения измеряемых параметров и их среднеквадратичные отклонения для каждого типа автомобиля. На основе анализа результатов делались выводы о влиянии деформируемого грунта на управляемость испытанных автомобилей.

Полученные данные позволили проанализировать влияние деформируемого грунта на основные показатели управляемости исследуемых автомобилей [53].

При разгоне и экстренном торможении по прямой отмечалось увеличение тормозного пути на деформируемом грунте для всех типов автомобилей. Наибольшее удлинение тормозного пути (на 43%) наблюдалось для заднеприводного автомобиля и связано с большим проскальзыванием задних колес при торможении, что приводит к потере сцепления и устойчивости. Для полноприводного и переднеприводного автомобилей тормозной путь увеличивался в меньшей степени (на 21% и 17% соответственно).

При движении по криволинейной траектории отмечалось увеличение радиуса поворота и снижение максимально допустимой скорости прохождения поворотов для всех автомобилей.

Наибольшее влияние деформируемый грунт оказывал на управляемость заднеприводного автомобиля - радиус его поворота увеличивался на 32-48% в зависимости от начальной скорости. Для полноприводного автомобиля радиус поворота увеличивался на 19-29%, а для переднеприводного - на 12-23%.

При прохождении слалома на деформируемом грунте также отмечалось снижение максимально допустимой скорости движения для всех автомобилей. Наибольшие трудности возникали у заднеприводного автомобиля, который терял устойчивость и «заносило» при скорости выше 25 км/ч. Полноприводный

автомобиль сохранял устойчивость при прохождении слалома на скорости до 35 км/ч, а переднеприводный - до 30 км/ч [7, 8].

Таблица 3.4 - Результаты экспериментальных испытаний

| Тип автомобиля | Испытание | Параметр | Значение |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------|
| Автомобиль 1 (заднеприводный) | Разгон и торможение | Начальная скорость, км/ч | 60 |
| | | Тормозной путь, м | 35 |
| | | Боковое отклонение, м | 1,2 |
| | Вход в поворот R=50 м | Скорость, км/ч | 30 |
| | | Радиус траектории, м | 63 |
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 1,8 |
| | | Скорость, км/ч | 40 |
| | | Радиус траектории, м | 78 |
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 2,5 |
| | | Скорость, км/ч | 50 |
| | | Радиус траектории, м | - |
| | Слалом | Скорость, км/ч | 30 |
| | | Отклонение, м | 1,5 |
| | | Скорость, км/ч | 40 |
| | | Отклонение, м | 4,2 |
| Круговой маневр | Скорость, км/ч | 20 | |
| | Радиус траектории, м | 28 | |
| | Угол поворота колес, ° | 38 | |
| Прохождение выбоин | Скорость, км/ч | 20 | |
| | Амплитуда колебаний, м | 0,12 | |
| Автомобиль 2 (полноприводный) | Разгон и торможение | Начальная скорость, км/ч | 60 |

| Тип автомобиля | Испытание | Параметр | Значение |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------|
| | | Тормозной путь, м | 31 |
| | | Боковое отклонение, м | 0,9 |
| | Вход в поворот R=50 м | Скорость, км/ч | 30 |
| | | Радиус траектории, м | 58 |
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 1,6 |
| | | Скорость, км/ч | 40 |
| | | Радиус траектории, м | 71 |
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 2,2 |
| | | Скорость, км/ч | 50 |
| | | Радиус траектории, м | 82 |
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 2,8 |
| | | Слалом | Скорость, км/ч |
| | Отклонение, м | | 1,2 |
| | Скорость, км/ч | | 40 |
| | Отклонение, м | | 2,1 |
| | Круговой маневр | Скорость, км/ч | 20 |
| | | Радиус траектории, м | 26 |
| | | Угол поворота колес, ° | 34 |
| | Прохождение выбоин | Скорость, км/ч | 20 |
| | | Амплитуда колебаний, м | 0,09 |
| Автомобиль 3 (переднеприводный) | Разгон и торможение | Начальная скорость, км/ч | 60 |
| | | Тормозной путь, м | 34 |
| | | Боковое отклонение, м | 1,1 |
| | Вход в поворот R=50 м | Скорость, км/ч | 30 |
| | | Радиус траектории, м | 54 |

| Тип автомобиля | Испытание | Параметр | Значение |
|----------------|--------------------|-------------------------------------|----------|
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 1,5 |
| | | Скорость, км/ч | 40 |
| | | Радиус траектории, м | 66 |
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 2,0 |
| | | Скорость, км/ч | 50 |
| | | Радиус траектории, м | 77 |
| | | Боковое ускорение, м/с ² | 2,6 |
| | Слалом | Скорость, км/ч | 30 |
| | | Отклонение, м | 1,4 |
| | | Скорость, км/ч | 40 |
| | | Отклонение, м | 3,1 |
| | Круговой маневр | Скорость, км/ч | 20 |
| | | Радиус траектории, м | 27 |
| | | Угол поворота колес, ° | 35 |
| | Прохождение выбоин | Скорость, км/ч | 20 |
| | | Амплитуда колебаний, м | 0,11 |

Проведенные испытания показали, что даже на относительно небольших неровностях и деформациях грунта наблюдаются значительные колебания вертикальных нагрузок на колеса. Амплитуда этих колебаний достигала 10-25% от статической нагрузки на соответствующую ось. Наибольшие динамические нагрузки возникали на передней оси, что обусловлено ее конструктивными особенностями и влиянием продольных колебаний кузова. Частота колебаний вертикальных нагрузок находилась в диапазоне 5-12 Гц в зависимости от скорости и характера неровностей.

Для построения регрессионных моделей были использованы следующие обозначения:

Y1 - радиус траектории движения, м

Y2 - отклонение от заданной траектории, см

Y3 - амплитуда колебаний кузова, см

X1 - тип автомобиля (1 - заднеприводный, 2 - полноприводный, 3 - переднеприводный)

X2 - скорость движения, км/ч

При построении регрессионных моделей использовался метод наименьших квадратов. Сначала были выбраны зависимые переменные Y - показатели управляемости (радиус траектории, отклонение, амплитуда колебаний), которые необходимо было описать с помощью моделей. Затем определены независимые факторы X, влияющие на эти показатели - тип автомобиля и скорость движения. Для учета возможного комбинированного влияния факторов были включены члены вида $X1 \cdot X2$.

Далее по экспериментальным данным методом наименьших квадратов были найдены коэффициенты при независимых переменных, минимизирующие сумму квадратов отклонений расчетных значений Y от экспериментальных [1]. Полученные модели адекватно описывают влияние типа автомобиля и скорости на показатели управляемости. Коэффициенты при X1 отражают более существенное ухудшение управляемости от переднеприводных к заднеприводным авто, а отрицательные коэффициенты при X2 - ухудшение с ростом скорости.

Так, при моделировании радиуса траектории, были проведены следующие расчеты:

Составляем систему нормальных уравнений:

$$\begin{cases} 6a + 18b - 3,6c + 2,4d = 1767,2 \\ 18a + 72b - 12c + 9,6d = 2318 \\ -3,6a - 12b + 2,16c - 1,44d = -194,4 \\ 2,4a + 9,6b - 1,44c + 1,92d = 130,8 \end{cases} \quad (3.15)$$

Решаем систему, находим коэффициенты:

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 25,3 \\ b = 7,2 \\ c = -0,12 \\ d = 0,08 \end{array} \right. \quad (3.16)$$

Подставляем коэффициенты в модель Y1:

$$Y1 = 25,3 + 7,2X1 - 0,12X2 + 0,08X1X2 \quad (3.17)$$

Далее по аналогии произведено моделирование. В итоге моделирования, были получены следующие модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y1 = 25,3 + 7,2X1 - 0,12X2 + 0,08X1X2 \\ Y2 = -10,1 + 4,9X1 - 0,21X2 + 0,05X1X2 \\ Y3 = 3,2 + 1,8X1 - 0,09X2 + 0,03X1X2 \end{array} \right. \quad (3.18)$$

Анализ моделей показывает:

При прочих равных условиях радиус поворота, отклонение от траектории и амплитуда колебаний возрастают с увеличением X1 (переход от переднеприводных к заднеприводным автомобилям). С ростом скорости X2 все показатели ухудшаются для всех типов автомобилей. Взаимодействие факторов X1 и X2 (члены X1 · X2) указывает на более существенное влияние скорости на управляемость заднеприводных автомобилей. Таким образом, модели подтверждают более значительное ухудшение управляемости на деформируемом грунте для заднеприводных автомобилей, особенно с ростом скорости. Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что деформируемый грунт оказывает негативное влияние на управляемость всех типов автомобилей. При этом наибольшее ухудшение

управляемости и устойчивости наблюдается у заднеприводных транспортных средств. Полноприводные автомобили демонстрируют лучшую управляемость на деформируемом грунте по сравнению с задне- и переднеприводными за счет более равномерного распределения крутящего момента и нагрузки на оси.

Полученные результаты согласуются с данными других исследований в этой области и могут быть использованы при разработке рекомендаций по безопасному управлению различными типами автотранспортных средств при движении по деформируемым грунтовым покрытиям.

Проведенное в данной работе экспериментальное исследование подтверждает выводы А.В. Андропова о том, что движение колесных транспортных средств по деформируемым грунтам приводит к изменению их свойств [5]. В частности, в ходе испытаний наблюдалось уплотнение поверхностного слоя грунта и образование колеи при многократном проезде автомобилей по одному следу и согласуется с утверждением А.В. Андропова о формировании колеи под воздействием движителей.

Кроме того, результаты проведенных тестов на управляемость и устойчивость автомобилей на деформируемом грунте показали ухудшение этих характеристик по сравнению с твердым покрытием [131].

В ходе экспериментальных испытаний было отмечено, что многократный проезд автомобилей по одному следу на грунтовом полигоне приводит к уплотнению и деформации поверхностного слоя почвы, что согласуется с утверждением К. В. Корниенко о деформации слабых грунтов при приложении нагрузки со стороны колес автомобиля. Кроме того, снижение показателей управляемости исследуемых транспортных средств на деформируемом грунте по сравнению с твердым покрытием может быть связано с изменением механических характеристик контакта шины и грунта, о чем упоминает К. В. Корниенко [46].

Результаты экспериментального исследования влияния деформируемого грунта на управляемость автомобилей показали, что на управляемость и устойчивость транспортных средств в условиях бездорожья влияет комплекс

факторов. Так, в рамках теории движения автомобиля по полевым дорогам выделяют следующие основные факторы, определяющие характер данного процесса:

Физико-механические свойства грунта (прочностные и деформационные характеристики);

Конструктивные параметры транспортного средства (тип и параметры шин, масса, геометрия подвески);

Режим движения (скорость, ускорения, траекторные параметры).

Постулат, выдвинутый А.В. Улезько относительно повышенных требований к тягово-скоростным свойствам и конструктивной надежности автотранспортных средств, предназначенных для эксплуатации в условиях слабых дорожных покрытий и полного отсутствия дорожной инфраструктуры, находит экспериментальное подтверждение в результатах проведенной работы [114].

В частности, по данным испытаний различных типов автомобилей на грунтовом полигоне выявлено, что деформируемый грунт оказывает существенное дестабилизирующее воздействие на показатели курсовой устойчивости и управляемости транспортных средств.

Кроме того, прицепное оборудование еще в большей степени усугубляет проблемы, связанные с обеспечением тягово-сцепных характеристик автопоезда в условиях слабых опорных поверхностей, что коррелирует с выводами автора. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии неровностей деформируемого грунта на динамику нагрузок на колеса автомобиля, что, в свою очередь, необходимо учитывать при оценке прочности и усталости элементов подвески, а также при разработке алгоритмов систем активного и адаптивного поддрессоривания для бездорожной техники.

В целом проведенные в рамках эксперимента исследования динамики нагрузок позволили получить новые данные о влиянии деформируемого грунта на нагруженность отдельных узлов и агрегатов автомобиля. Стоит отметить, что полученные результаты открывают перспективы дальнейшей оптимизации

конструкции и настройки подвески для снижения динамических нагрузок и повышения плавности хода транспортных средств в условиях бездорожья.

Результаты проведенного в данной работе экспериментального исследования позволили получить новые данные о влиянии деформируемого грунта на динамику и управляемость различных типов автотранспортных средств.

В ходе испытаний установлено, что даже при движении с относительно невысокими скоростями (до 50 км/ч) на деформируемом грунте наблюдается значительное ухудшение таких показателей управляемости, как радиус поворота, отклонение от заданной траектории, амплитуда раскачивания кузова. При этом наибольшее ухудшение управляемости проявляется у заднеприводных автомобилей - у них радиус поворота увеличивается на 30-50% по сравнению с твердым покрытием. У полноприводных и переднеприводных автомобилей также наблюдается значительный рост радиуса (на 15-30%), но менее выраженный.

Кроме того, выявлено, что движение с прицепом по деформируемому грунту приводит к резкому возрастанию отклонений от траектории и снижению курсовой устойчивости автопоезда, что связано с ухудшением сцепления и тягово-сцепных характеристик на мягком грунте.

Важным результатом работы стало также экспериментальное исследование динамики вертикальных нагрузок на колеса при движении по неровностям деформируемого грунта. Были получены количественные оценки амплитуд и частот колебаний нагрузок, что важно учитывать при проектировании подвески бездорожных автомобилей.

Проведенное исследование позволило комплексно оценить влияние деформируемого грунта на динамику и управляемость различных типов автотранспортных средств. Экспериментально установлено, что даже при относительно невысоких скоростях движения (до 50 км/ч) мягкий грунт приводит к существенному ухудшению таких важных показателей управляемости, как радиус поворота, отклонение от заданной траектории,

амплитуда раскачивания кузова. При этом наибольшие проблемы с управляемостью и курсовой устойчивостью возникают у заднеприводных автомобилей, в меньшей степени они проявляются у полноприводных и переднеприводных транспортных средств. Еще одним важным выводом является тот факт, что движение автопоезда (автомобиль с прицепом) по полевым дорогам приводит к резкому возрастанию отклонений от траектории и снижению общей устойчивости по сравнению с движением без прицепа.

Кроме того, в ходе исследования впервые получены количественные оценки динамики вертикальных нагрузок на колеса при проезде автомобилей по неровностям полевых дорог. Выявлено, что даже небольшие неровности вызывают значительные динамические колебания нагрузок с амплитудой до 25% от статической нагрузки. Полученные данные необходимо учитывать при проектировании и настройке подвески бездорожной техники» [91].

3.7 Разработка алгоритма совершенствования технической эксплуатации рулевого управления автомобилей

При технической эксплуатации рулевого управления автомобилей важно своевременно диагностировать его технические неисправности. Наиболее часто диагностика рулевого управления оценивают органолептическими методами по наличию стука, шума, вибрации, визуального контроля [120]. Также существуют инструментальные методы контроля, основанные на ГОСТ Р 51709 – 2002.01.01 «Автотранспортные средства, требования к техническому состоянию и методы проверки» и приказе Министерства промышленности и торговли РФ от 6 декабря 2011 г. N 1677 «Об утверждении основных технических характеристик средств технического диагностирования и их перечня». Измерение суммарного люфта является наиболее информативным и комплексным показателем характеризующем состояние рулевого управления. Для диагностирования рулевого механизма предложен алгоритм [47, 126].

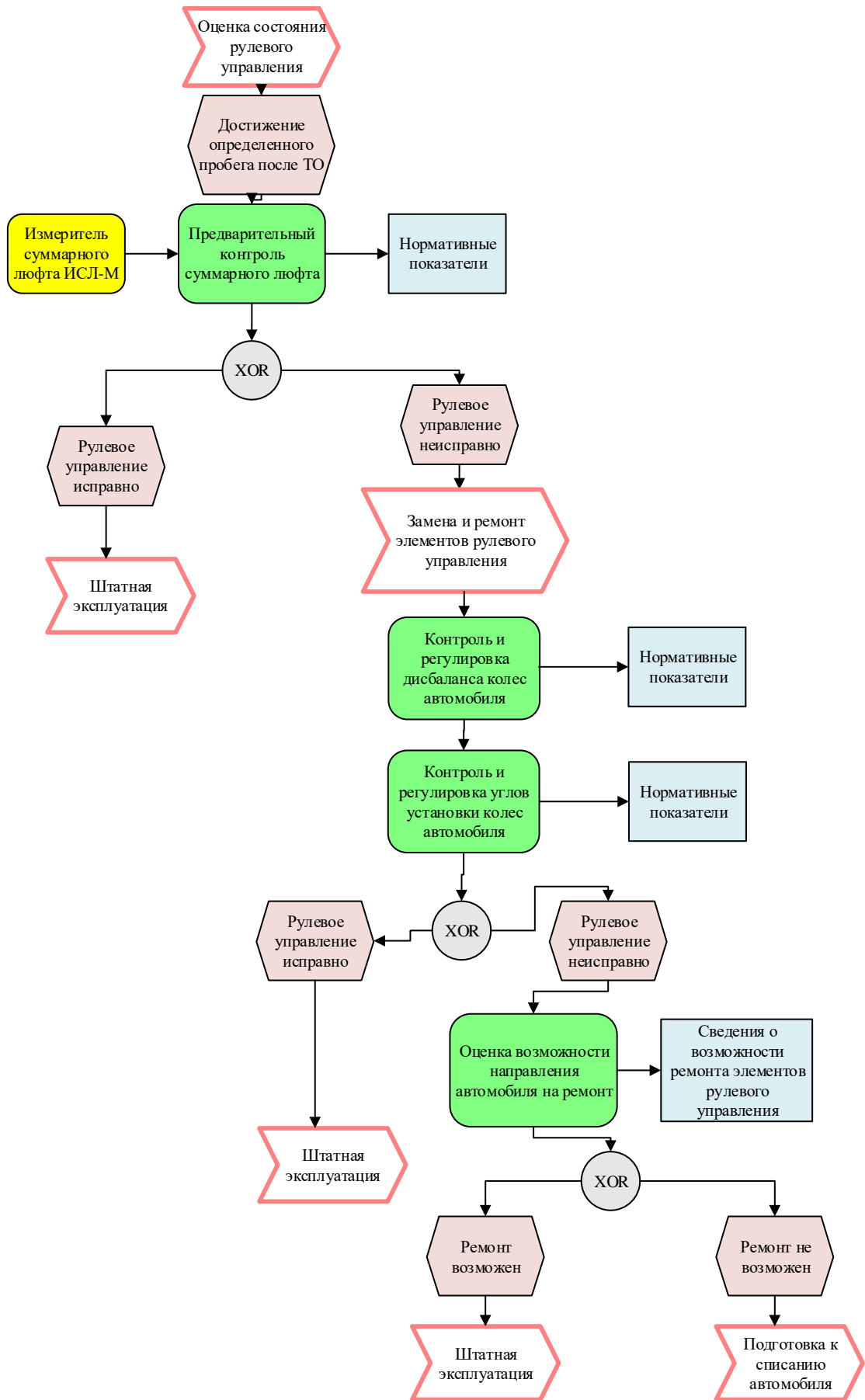


Рисунок 3.20 – Алгоритм диагностики рулевого управления [92]

Для оценки суммарного люфта используют приборы (ИСЛ-401М, ИСЛ401МК, К524М, Виразж-К (Л), ИСЛ-М), наиболее эффективными являются ИСЛ-М [125].

Рулевое управление считается исправным если суммарный люфт не превышает [23]:

- «легковые автомобили и созданные на базе их агрегатов грузовые автомобили и автобусы 10°»;
- «автобусы 20°»;
- «грузовые автомобили 25°».

Если автомобиль не удовлетворяет установленным требованиям, то производится ремонт или замена элементов рулевого управления. При ремонте элементов рулевого управления производится контроль дисбаланса колес, контроль и регулировка установки углов колес автомобиля. В случае если величина дисбаланса колес не превышает нормативных значений, установленных заводом изготовителем, а углы установки также соответствуют нормативным значениям рулевое управление автомобиля считается исправным. В случае если невозможно устранение неисправности обычными методами (величина корректировочных грузов более 160 грамм), невозможно отрегулировать углы установки колес, деформированы узлы и элементы рулевого управления, рамы, то автомобиль направляют на специализированный пункт проведения ремонта. В результате проведения дефектовки на специализированном пункте проведения ремонта оценивается возможность устранения неисправности автомобиля. Таким образом определение суммарного люфта автомобиля является начальной и наиболее значимой операцией диагностирования состояния рулевого управления. С другой стороны, определение суммарного люфта не требует дорогостоящих приборов, высокой квалификации оператора для оценки состояния рулевого управления [109, 112, 119, 121]. Особенностью данного метода диагностирования является простота применения прибора определения суммарного люфта и минимальные затраты времени.

Выводы по главе 3

1. В ходе экспериментальных исследований установлено, что вертикальное усилие взаимодействия колеса с наклонной поверхностью в значительной мере определяется углом поворота колеса. С увеличением угла наклона рельефа вертикальное усилие взаимодействия колеса с наклонной поверхностью возрастает. Минимальное значение вертикального усилия 821 Н соответствует углу поворота колеса 10 градуса и углу наклона поперечного рельефа 12,4 градусов. С увеличением угла наклона рельефа боковое усилие колеса с поверхностью возрастает. Боковое усилие возрастает с 750Н до 1180Н. Максимальное значение бокового усилия 1180Н соответствует углу наклона поперечного рельефа 17,2 градусов и углу поворота колеса 11 градусов.

2. Экспериментальными исследованиями установлено, что повышение скорости движения транспортного средства с 11 км/ч до 23 км/ч, способствует уменьшению вертикальных усилий (давление на грунт) с 570 Н до 400 Н и увеличению боковых усилий с 590 Н до 760 Н, тем самым увеличивая нагрузку на элементы рулевого управления при движении, по дорогам третьей и четвертой категории.

3. Боковое усилие взаимодействия колеса с наклонной поверхностью в значительной мере определяется углом наклона рельефа. Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что боковое усилие при поворотах и наезде на препятствие (наклонный рельеф) превышает значения вертикального усилия на 30,5%. В процессе исследования зависимостей углов поворота колеса и наклона рельефа при преодолении препятствий и неровностей ведет к увеличению нагрузки на рулевой механизм, что ведет к увеличению износа шарниров рулевого управления (пальцев рулевых наконечников), тем самым снижая долговечность рулевого управления.

4. Установлено, что величина суммарного люфта определяется величиной пробега автомобиля, а также условиями эксплуатации различных машин. Среднее величина суммарного люфта исследуемых автомобилей составляет 3,95

градуса при среднем пробеге 9879,8 километров. Поэтому при эксплуатации автомобилей необходимо проводить диагностику чаще, чем заявлено заводом изготовителем (каждое ТО), для оценки технического состояния механизмов рулевого управления и предупреждения внезапных поломок.

5. Установлено, что изменение углов установки колес в значительной мере связано с условиями эксплуатации транспортного средства. Таким образом, суммарное схождение управляемых колес в значительной мере зависит от образования люфтов в элементах рулевого управления. С увеличением пробега величина схождения управляемых колес меняется на 0,47-0,52 град при среднем пробеге 13000 км.

6. Для снижения нагрузки на рулевой механизм необходимо оценивать возможное влияние дисбаланса колес в процессе эксплуатации автомобиля. Установлено, что среднее значение неуравновешенных масс (дисбаланса) с внутренней стороны составляет 25,47 грамм, а с внешней стороны 24,37 грамм при пробеге 13700 км.

7. Установлено, что среднее значение глубины микрорельефа почвы составляет 0,074 м. В то же время образование колеи более 0.15 м встречается достаточно часто и затрудняет маневрирование сельскохозяйственной техники. Анализ данных полевых исследований углов поперечных неровностей показал, что наиболее часто встречается значения углов поперечных неровностей от 10 до 20 градусов. Угол поперечных неровностей будет определять маневренность транспортного средства, а также величину буксования при движении по полевым дорогам.

8. В ходе исследования получены количественные оценки динамики вертикальных нагрузок на колеса при проезде автомобилей по неровностям деформируемого грунта. Выявлено, что даже небольшие неровности вызывают значительные динамические колебания нагрузок с амплитудой до 25% от статической нагрузки.

9. Таким образом определение суммарного люфта автомобиля является начальной и наиболее значимой операцией диагностики состояния рулевого

управления. С другой стороны, определение суммарного люфта не требует дорогостоящих приборов, высокой квалификации оператора для оценки состояния рулевого управления. Особенностью данного метода диагностирования является простота применения прибора определения суммарного люфта и минимальные затраты времени.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРЕДЛОЖЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

4.1 Организационные основы эксплуатации транспортных средств

В период сельскохозяйственных работ в Рязанской области отказы транспортных средств приводят к задержкам процесса, а учитывая, что оптимальные агротехнические сроки проведения работ для сельскохозяйственных культур ограничены это может привести к значительным потерям урожая. Эксплуатация транспортных средств предполагает предупреждение отказов за счет применений технических решений. Снижение количества отказов позволяет проводить планирование технического обслуживания и ремонта в менее нагруженный период максимально используя транспортные средства в период сельскохозяйственных работ.

Исправность рулевого управления является критически важным элементом эксплуатации автомобиля. При неисправности любого из элементов рулевого управления эксплуатация данного транспортного средства категорически запрещена. Наиболее частой неисправностью в рулевом управлении является люфт в шарнирах.

При техническом обслуживании автомобилей в АПК значительная часть времени отводится для обслуживания рулевого управления. Объем выполняемых работ по обслуживанию достигает 20% от общего выделяемого времени для проведения технического обслуживания. Поэтому продление безотказной работы элементов рулевого управления позволяет внести рекомендации к проведению технического обслуживания [69, 107, 117, 118, 130]. В связи с этим возникает возможность по оптимизации сроков проведения технического обслуживания с агротехническими сроками проведения сельскохозяйственных работ. Экономическая эффективность будет определяться не только снижением эксплуатационных затрат, но и снижением

потерь за счет проведения сельскохозяйственных работ в оптимальные сроки [35, 49, 71]. В разделе 3.5 предложен алгоритм совершенствования технической эксплуатации рулевого управления автомобилей, который позволяет предупредить выезд неисправного автомобильного транспорта в рейс. В то же время процедура комплексной диагностики рулевого управления автомобилей с помощью ИСЛ-М занимает незначительное время и не требует привлечения высококвалифицированного персонала.

4.2 Техничко-экономический эффект результатов исследований

Для диагностики состояния рулевого управления были предложены организационные мероприятия для ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области, которые включали в себя оценку суммарного люфта для определения технического состояния рулевого управления. На основании предложенного алгоритма был проведен хронометраж длительности операций измерения суммарного люфта с помощью прибора ИСЛ-М (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Результат хронометража операций по определению суммарного люфта прибором ИСЛ-М

| Операция | Исполнитель | Длительность операции |
|---|-------------|--------------------------------|
| Визуальный осмотр прибора ИСМ-М, контроль уровня заряда батарей | Автомеханик | Перед началом работы – 16 с |
| Установка и фиксация приборного блока на рулевом колесе | Автомеханик | Подготовка к измерениям – 23 с |
| Установка датчика движения колеса | Автомеханик | Подготовка к измерениям – 31 с |

| | | |
|--|-------------|--------------------------------|
| Подключение датчика движения колеса к приборному блоку | Автомеханик | Подготовка к измерениям – 13 с |
| Включение и калибровка прибора | Автомеханик | Подготовка к измерениям – 14 с |
| Ввод исходных данных | Автомеханик | Измерение – 16 с |
| Измерение суммарного люфта в соответствии с руководством по эксплуатации | Автомеханик | Измерение – 49 с |
| Заключение о исправности рулевого управления автомобиля | Автомеханик | Заключительный этап – 10 с |
| | | Общее время измерения – 172 с |

В соответствии с требованиями завода изготовителя «УАЗ» проверка суммарного люфта должна производиться после эксплуатации автомобиля в условиях бездорожья. Периодичность измерений суммарного люфта должны быть экономически обоснована исходя из ее стоимости и возможных затрат от возникающих отказов в процессе эксплуатации [49, 87, 130]. Для расчета периодичности измерений суммарного люфта рулевого управления за основу взят технико-экономический метод [17, 27, 75, 77, 78, 107, 113]. С помощью разработанного алгоритма и минимизации удельных затрат на ТО и ремонт рулевого управления автомобиля рассчитывали периодичность измерений суммарного люфта. Стоимость проведения обслуживания рулевого управления автомобилями $C_{об}$ определяли по формуле

$$C_{об} = Z_{зп} + Z_{соц} + Z_{ам} + Z_{пр} \quad (4.1)$$

где $Z_{зп}$ – заработная плата автомеханика, руб;

$Z_{соц}$ – затраты на социальные отчисления, руб;

$Z_{ам}$ – затраты на амортизацию оборудования, руб;

$Z_{пр}$ – прочие затраты, руб.

Удельные затраты на измерение суммарного люфта управляемых колес $C_{уд}$ определяли по формуле

$$C_{уд} = \frac{C_{об}}{L} \quad (4.2)$$

где L – периодичность диагностики рулевого управления, км.

Обслуживание рулевого управления является совокупностью операций технического обслуживания и ремонта поэтому при изменении периодичности ТО рулевого управления связана с вероятностью отказов [113, 130], что приводит к изменению удельных затрат на ремонт C_p . Суммарные затраты $C_{сум}$ в этом случае определяют по формуле

$$C_{сум} = C_{об} + C_p \quad (4.3)$$

Оптимальную периодичность для условий хозяйства определяли на основе средних цен, действующих в Рязанской области за 2024 год: заработная плата автомеханика $Z_{зп} = 325$ руб/час, затраты на социальные отчисления $Z_{соц} = 115,7$ руб/час, затраты на амортизацию оборудования $Z_{ам} = 0,02\%$, прочие затраты $Z_{пр} = 0,1\%$. В результате расчета удельных затрат на техническое обслуживание и ремонт получены следующие данные (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Периодические удельные затраты на техническое обслуживание и ремонт

| Периодичность технического обслуживания рулевого управления | 15000 | 30000 | 45000 | 60000 | 75000 | 90000 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | км | км | км | км | км | км |
| | 12 мес | 24 мес | 36 мес | 48 мес | 60 мес | 72 мес |
| Удельные затраты на техническое обслуживание, руб/км | 0,32 | 0,30 | 0,24 | 0,17 | 0,13 | 0,11 |
| Удельные затраты на текущий ремонт, руб/км | 1,72 | 1,75 | 1,83 | 2,05 | 2,48 | 2,91 |
| Суммарные затраты, руб/км | 2,05 | 2,05 | 2,07 | 2,22 | 2,61 | 3,02 |

Анализ периодических удельных затрат позволил получить уравнение регрессии [92] и построить графики удельных затрат на техническое обслуживание, затрат на текущий ремонт и суммарных затрат (рисунок 4.1).

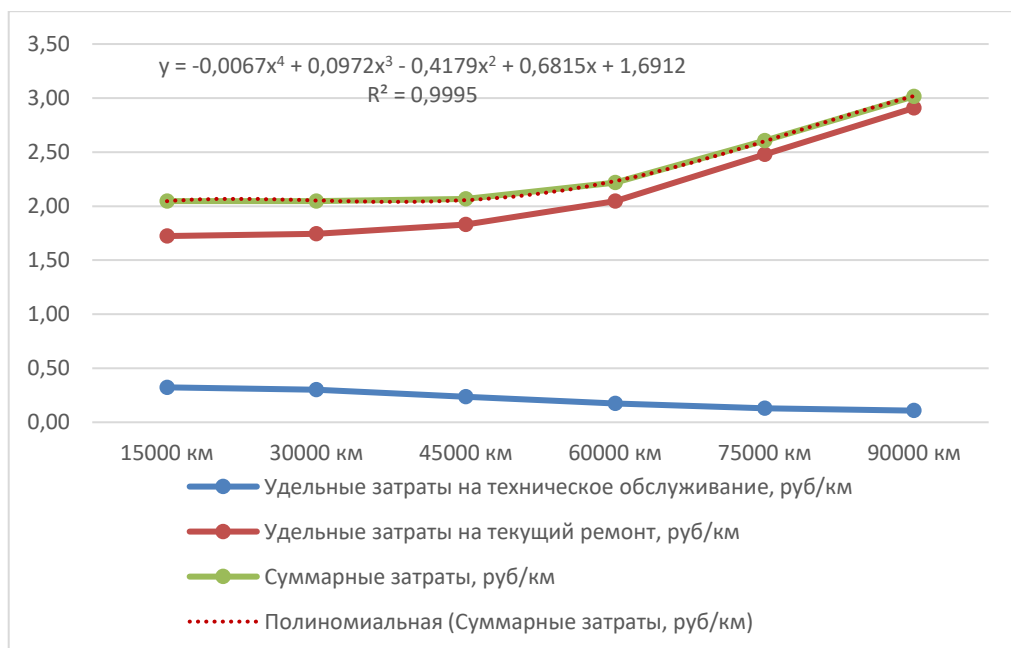


Рисунок 4.1 – Влияние периодичности технического обслуживания на величину удельных затрат на техническое обслуживание и ремонт

Уравнение регрессии получено в виде полинома четвертой степени, так как имеет наибольшую адекватность полученным данным $R^2 = 0,9995$

$$y = -0,0067x^4 + 0,0972x^3 - 0,4179x^2 + 0,6815x + 1,6912 \quad (4.4)$$

где y – суммарные удельные затраты, руб/км;

x – периодичность технического обслуживания и ремонта, км.

Анализ уравнения регрессии показал и графика суммарных затрат показал, что минимум удельных суммарных затрат автомобилей семейства «УАЗ» для ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области соответствует пробегу 15000 км при нормальных условиях эксплуатации. Таким образом, с условиями эксплуатации третьей категории [21] следует применить понижающий коэффициент к периодичности проведения технического обслуживания 0,8, что соответствует периодичности определения суммарного люфта управляемых колес не реже 12000 км или не реже 9 месяцев эксплуатации.

4.3 Техничко-экономический эффект от совершенствования эксплуатации рулевого управления автомобилей

Применение прибора ИСЛ-М для измерения суммарного люфта позволяет осуществлять комплексную диагностику состояния рулевого управления автомобилей незначительно увеличивая затраты, что в процессе технической эксплуатации снижает затраты от простоев в ремонте. Прибор для измерения суммарного люфта возможно применять ко всем категориям автомобилей в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области для снижения простоев в ремонте, но каждый автомобиль имеет свою себестоимость технического обслуживания и ремонта рулевого управления [44]. Средние нормативы удельных затрат на основании данных хозяйства составляют: себестоимость 1 км в эксплуатации $S = 35$ руб/км; доходная ставка $P = 42$ руб/км; удельный простой в ремонте $d = 0,44$ дней/тыс.км; средний годовой пробег автомобилей $L = 13,700$

тыс.км. Применения усовершенствованной эксплуатации рулевого управления автомобилей позволило увеличить ресурс рассматриваемых автомобилей в эксплуатации на $\Delta l = 9\%$. Проведем расчет экономического эффекта по снижению себестоимости перевозок при сокращении простоев в ремонте [35, 87]. Затраты на ремонт рулевого управления составляют около 11,6 % от общей структуры затрат при проведении технического обслуживания и ремонта. При этом общие затраты себестоимости эксплуатации автомобилей на ремонт и техническое обслуживание составляют $Q = 15\%$. Отказы рулевого управления по статистике составляют до $q_{py} = 17,8\%$ из общей структуры отказов агрегатов автомобиля [12, 13, 19, 59, 104, 123] Рассчитаем снижение себестоимости эксплуатации автомобилей при совершенствовании эксплуатации рулевого управления

$$\Delta S = Q \cdot q_{py} \cdot \Delta l \quad (4.5)$$

где ΔS – снижение себестоимости эксплуатации, %.

$$\Delta S_{год} = L \cdot S \cdot \Delta S \quad (4.6)$$

где $\Delta S_{год}$ – снижение себестоимости эксплуатации, руб/авт.

Применение усовершенствованной эксплуатации рулевого управления приводит к сокращению доли простоев в ремонте по причине отказов рулевого управления $y_{py}=18\%$. Снижение простоев в ремонте рассчитываются по следующей формуле

$$\Delta y = y_{py} \cdot \Delta l \quad (4.7)$$

где Δy – относительное снижение простоев, %.

Тогда общее количество дней простоев автомобиля вычислим по следующей формуле

$$\Delta D = \Delta y \cdot L \cdot d \quad (4.8)$$

где ΔD – количество дней простоев за год приходящееся на один автомобиль, дней/авт.;

d - удельный простой в ремонте, дней/тыс.км.

Удельное количество дней простоев, приходящееся на средний годовой пробег, определим по формуле

$$\Delta d = \Delta y \cdot d \quad (4.9)$$

где Δd – удельное количество дней простоев, дней/тыс.км.

Годовое увеличение доходов от снижения простоев рассчитаем по формуле

$$\Delta Д = (P - S) \cdot \Delta y \cdot d \quad (4.10)$$

где $\Delta Д$ – годовое увеличение доходов от снижения простоев, руб/авт.

Годовой экономический эффект рассчитаем по формуле

$$\mathcal{E}_{уэ} = \Delta Д + \Delta S_{год} \quad (4.11)$$

Основные исходные расчетные показатели для расчета экономического эффекта приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Показатели годового экономического эффекта при внедрении усовершенствованной эксплуатации рулевого управления

| Наименование показателей | Единица измерения | Значение показателя |
|--|-------------------|---------------------|
| Себестоимость 1 км в эксплуатации | руб/км | 35 |
| Доходная ставка | руб/км | 42 |
| Удельный простой в ремонте | дней/тыс.км | 0,44 |
| Средний годовой пробег автомобилей | тыс.км | 13700 |
| Увеличение ресурса рассматриваемых автомобилей в эксплуатации | % | 9 |
| Себестоимость эксплуатации автомобилей на ремонт и техническое обслуживание составляют | % | 15 |
| Отказы рулевого управления | % | 7,8 |
| Затраты на ремонт рулевого управления | % | 11,6 |
| Сокращение доли простоев в ремонте по причине отказов рулевого управления | % | 18 |
| Снижение себестоимости эксплуатации | % | 0,24 |
| Снижение себестоимости эксплуатации, | руб/авт. | 115,22 |
| Относительное снижение простоев | % | 1,62 |
| Количество дней простоев за год | дней/авт. | 9,7 |
| Удельное количество дней простоев, | дней/тыс.км | 0,71 |
| Годовое увеличение доходов от снижения простоев | руб/авт. | 498,96 |
| Годовой экономический эффект | руб/авт | 614,18 |

Расчет годового экономического эффекта показал, что экономия достигается за счет снижения затрат на проведение технического обслуживания и ремонта, и снижения количества простоя в ремонте, при

учащении периодичности диагностики суммарного люфта автомобилей. Для автомобилей семейства «УАЗ» периодичность определения суммарного люфта управляемых колес должна составлять 12000 км или 9 месяцев эксплуатации, а также после эксплуатации автомобиля в условиях бездорожья. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат в расчете на 10 автомобилей составляет 6142 рубля при среднем годовом пробеге 13700 км.

Выводы по главе 4

1. Анализ суммарных затрат показал, что минимум удельных суммарных затрат автомобилей семейства «УАЗ» для ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области соответствует пробегу 15000 км при нормальных условиях эксплуатации. Таким образом, с условиями эксплуатации третьей категории следует применить понижающий коэффициент к периодичности проведения технического обслуживания 0,8, что соответствует периодичности определения суммарного люфта управляемых колес не реже 12000 км или не реже 9 месяцев эксплуатации.

2. Экономический эффект достигается за счет снижения затрат на проведение технического обслуживания и ремонта, и снижения количества простоя в ремонте, при учащении периодичности диагностики суммарного люфта автомобилей.

3. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат в расчете на 10 автомобилей составляет 6142 рубля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исходными факторами, влияющими на эксплуатацию рулевого управления, являются ускорение, скорость до и после прохода препятствий и их величина.

2. Установлено, что величина суммарного люфта определяется величиной пробега автомобиля, а также условиями эксплуатации машин. Средняя величина суммарного люфта исследуемых автомобилей семейства УАЗ составляет 3,95 градуса при среднем пробеге 9879,8 километров в АПК.

3. Анализ суммарных затрат показал, что минимум удельных суммарных затрат автомобилей семейства «УАЗ» для ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области соответствует пробегу 15000 км. В условиях эксплуатации дорог третьей категории следует применить понижающий коэффициент к периодичности проведения технического обслуживания 0,8, что соответствует периодичности не реже 12000 км или не более 9 месяцев эксплуатации.

4. Экономический эффект достигается за счет снижения затрат на проведение технического обслуживания и ремонта, времени простоя в ремонте. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат в расчете на 10 автомобилей составляет 6142 рубля, при среднем годовом пробеге 13700 км.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Целесообразно продолжить направление совершенствования эксплуатации рулевого управления автомобилей для передвижения по дорогам АПК в других категориях эксплуатации.

Рекомендации производству. Для повышения эффективности функционирования рулевого управления автомобилей целесообразно совершенствовать электронную базу его диагностирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю.Н. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.И. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 176 с.
2. Алексеев, И.Л. Эксплуатационные свойства автомобилей. Рулевое управление – Калининград: Издательство БГРАФ, 2009. – 105 с.
3. Анализ возможных значений боковых сил, действующих на затормаживаемый автомобиль / Е. В. Балакина, Д. С. Сарбаев, И. В. Сергиенко [и др.] // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2019. – № 16. – С. 77-81. – DOI 10.26160/2474-5901-2019-16-77-81. – EDN MDANUG.
4. Анализ методов разработки технических систем / Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Ю.Н. Храпов, В.В. Коченов, О.В. Филюшин, И.А. Афиногенов // В сборнике: Актуальные вопросы транспорта в современных условиях. Сборник научных статей по материалам III Международной научной конференции. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2016. С. 74-78.
5. Андронов, А.В. Математическая модель воздействия движителя на уплотняющийся лесной почвогрунт / А.В. Андронов, Е.В. Котенев, В.Ю. Пегов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – No 2 (80). – URL: <https://research-journal.org/archive/2-80-2019-february/matematiceskaya-model-vozdjstviya-dvizhitelya-na-uplotnyayushhijsya-lesnoj-pochvogrunt> (дата обращения: 12.10.2023).
6. Антоненко, М. В. Влияние микрорельефа дороги на движение транспортных средств в АПК / М. В. Антоненко, И. А. Успенский // Инновационные решения в области развития транспортных систем и дорожной инфраструктуры, Рязань, 27 октября 2022 года / МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА»
АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ. – Рязань:
Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А.
Костычева, 2022. – С. 258-265. – EDN GNFITM.

7. Бадмутский, М.М. Влияние чувствительности автомобиля к повороту руля на управляемость и устойчивость движения [Текст] / М.М. Бадмутский. // Автомобильная промышленность. – М., 1980. - № 4. – С. 22-23.

8. Балабин, И.В. Испытание автомобилей [Текст] / И.В. Балабин, В.А. Куров, Т.М. Башта. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы [Текст]./ Т. М. Башта.– М.: Машиностроение, 1970. – 505 с.

9. Блянкинштейн, И. М. Метод виртуального измерения суммарного люфта рулевого управления автотранспортных средств / И. М. Блянкинштейн, В. И. Иванов // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 4(81). – С. 42-44. – EDN RXVTOZ.

10. Бочаров, Н.Ф. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости [Текст]./ Н.Ф. Бочаров, И.С. Цитович, А.А. Полунгян, В.М. Семенов, В.С. Цыбин, Л.Ф. Жеглов. – М.: Машиностроение, 1983. – 304с. 121

11. Бурак, П. И. Анализ динамики обновления парка сельскохозяйственной техники / П. И. Бурак, И. Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 7(301). – С. 29-32. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-7-29-32. – EDN GMLRBN.

12. Бурак, П. И. Анализ наработки на отказ зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов / П. И. Бурак, И. Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 5(299). – С. 27-31. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-5-27-31. – EDN BITZHY.

13. Бурак, П. И. Анализ наработки на отказ при испытаниях зерноочистительных машин / П. И. Бурак, И. Г. Голубев, А. Г. Левшин // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 4(310). – С. 8-11. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-4-8-11. – EDN TQPMUO.

14. Бурак, П. И. Обновление парка сельскохозяйственной техники в рамках ведомственного проекта «Техническая модернизация агропромышленного комплекса / П. И. Бурак, И. Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 7(313). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-7-2-7. – EDN JZCGZX.

15. Бурак, П. И. Обновление парка сельскохозяйственной техники в рамках реализации ведомственного проекта "техническая модернизация агропромышленного комплекса" / П. И. Бурак, И. Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 6(288). – С. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-6-2-5. – EDN VTXMVK.

16. Васильченков, В.Ф. Военные автомобили. Конструкция и расчет. [Текст]/ В.Ф. Васильченков.– Рыбинск: Издание АОТ «РДП» – АРП, 1998. – 560с.

17. Волков, В.С. Особенности проведения технического обслуживания сельскохозяйственной техники [Текст] / С.В. Волков, С.С. Мешкова, Е.В. Пухов // В сборнике: Наука и образование на современном этапе развития: опыт, 102 проблемы и пути их решения. Материалы национальной научно-практической конференции. 2019. С. 125-128.

18. Галкин, К. Д. Анализ конструкции устройств для передачи крутящего момента на управляемые колеса автомобиля / К. Д. Галкин, А. Т. Заварзин, А. В. Подуремья // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 27 марта 2020 года. Том Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2020. – С. 279-283. – EDN XLPPFP.

19. Гвоздев, А. А. Использование диагностических параметров сельскохозяйственной техники АПК, приводящих к уменьшению числа отказов / А. А. Гвоздев, А. В. Дунаев, М. Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2023. – № 3. – С. 33-43. – DOI 10.33920/sel-10-2303-06. – EDN ILDXGC.

20. Гольдбурд, А. Л. Повышение эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин / А. Л. Гольдбурд, В. В. Терентьев, А. В. Шемякин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2019. – № 1(8). – С. 49-54. – EDN LGLHVV.

21. ГОСТ 21624 – 81. Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники. Требования к эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности изделий [Текст]. Введ. 81-24-12. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 16 с.

22. ГОСТ 37.001.471 – 88. Управляемость и устойчивость автотранспортных средств. Методы испытаний [Текст]. Введ. 90-01-01.– М.: Изд-во стандартов, 1989. – 48 с.

23. ГОСТ Р 51709 – 2001. Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию и методы проверки [Текст]. Введ. 02-01-01.– М.: Изд-во стандартов, 2001. – 20 с.

24. ГОСТ Р 52453 – 2005. Автомобильные транспортные средства. Механизмы рулевые с гидравлическим усилителем и рулевые гидроусилители. Технические требования и методы испытаний [Текст]. Введ. 06-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 49 с.

25. Гребенников, А. Ю. Оптимизация конструкции механизма рулевого управления автотранспорта / А. Ю. Гребенников, М. А. Крестин, В. В. Салмин // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : сборник статей XIV Международной научно- практической конференции, Пенза, 26–27 ноября 2020 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. – С. 12-16. – EDN NRJXMK.

26. Гринь, А. О. Исследование влияния износа деталей подвески грузовых автомобилей на управляемость / А. О. Гринь // Актуальные проблемы науки и техники. 2020 : Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 25–27 марта 2020 года / Отв. редактор Н.А.

Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2020. – С. 1233-1234. – EDN RPGGAJ.

27. Денисов, А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей [Текст] / А.С. Денисов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1999. – 352 с.

28. Денисов, И. В. Научные предпосылки разработки системы управления техническим состоянием автомобиля, оснащённого системой курсовой устойчивости / И. В. Денисов, И. А. Терентьев // Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – № 4. – С. 13-36. – EDN WLYNZF.

29. Диагностика современного автомобиля / Ю. Н. Храпов, И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 118. – С. 1001-1025. – EDN VWPTON.

30. Диагностирование рулевого управления автомобиля по неравномерности вращения рулевого колеса / С. А. Гребенников, А. С. Гребенников, Г. О. Киселев, А. В. Рогожин // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов по материалам 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 30 января – 01 2024 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2024. – С. 193-200. – EDN QONMWI.

31. Дунаев, А. В. Повышение ресурса сельскохозяйственной техники / А. В. Дунаев, М. Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2021. – № 1. – С. 41-47. – EDN ZMRXCW.

32. Ерохин, М. Н. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники / М. Н. Ерохин, А. С. Дорохов, Ю. В. Катаев // Агроинженерия. – 2021. – № 2(102). – С. 45-50. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50. – EDN RYZKCV.

33. Зазуля, А. Н. Способ определения давления пневматического колеса на почву / А. Н. Зазуля, О. Б. Филиппова, И. Г. Голубев // Техника и оборудование

для села. – 2021. – № 12(294). – С. 29-31. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-12-29-31. – EDN SIHHNG.

34. Золоторевская, Д. И. Основы теории и методы расчета уплотняющего воздействия на почву колесных движителей мобильной сельскохозяйственной техники: диссертация доктора технических наук: 05.20.01. – Москва, 1998. – 468.

35. Иванова Ю.Н. Экономическая статистика. 2-е изд., доп.: Учебник / Под ред. Ю.Н. Иванова. - М.: ИНФРА - М, 2004. - 480 с.

36. Информационно-диагностические средства для сельскохозяйственной техники / М. Н. Костомахин, А. С. Саяпин, Н. А. Петрищев, Е. В. Пестряков // Технический сервис машин. – 2024. – Т. 62, № 2. – С. 40-46. – DOI 10.22314/2618-8287-2024-62-2-40-46. – EDN YPVRMU.

37. Исаев, Н. С. Анализ эффективности работы рулевого управления автомобиля / Н. С. Исаев // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых- 2017 : Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 09–10 ноября 2017 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. Том 4. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 69-76. – EDN YBNZSE.

38. Исследование и сопоставление методов испытаний материалов рабочих органов почвообрабатывающих машин / Л. Сюеянь, А. Л. Галиновский, И. Н. Кравченко, Т. Н. Боровик // Технология металлов. – 2022. – № 12. – С. 33-42. – DOI 10.31044/1684-2499-2022-0-12-33-42. – EDN UBMFIZ.

39. Исследование эксплуатационных нагрузок деталей рулевого привода / А. Ю. Барыкин, Р. М. Галиев, Э. М. Мухаметдинов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 2. – С. 7-9. – EDN UOLXJQ.

40. Катаев, Ю. В. Способ организации технического обслуживания и ремонта деталей сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев, А. А. Соломашкин, В. С. Герасимов // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 67-72. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-5-67-72. – EDN SBHAJZ.

41. Князев, И. А. Анализ агрегатов для технического обслуживания сельскохозяйственных машин / И. А. Князев, А. Г. Абросимов // Наука и Образование. – 2021. – Т. 4, № 2. – EDN TXZESY.

42. Кожуховская, Л. Я. Анализ факторов, определяющих безопасность дорожного движения автомобиля по полевым дорогам / Л. Я. Кожуховская, А. А. Диков // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2020. – № 3(42). – С. 208-212. – EDN RHYWTZ.

43. Кокиева, Г. Е. Исследование эффективности использования машины при автоматизации сельскохозяйственного производства / Г. Е. Кокиева // Вестник АГАТУ. – 2023. – № 2(10). – С. 39-53. – EDN TOMRDL.

44. Кокиева, Г. Е. Определение потерь, вызванных простоями сельскохозяйственной техники / Г. Е. Кокиева // Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня образования Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Бурятия, Улан-Удэ, 08 ноября 2023 года. – Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2023. – С. 221-226. – EDN EXQZSH.

45. Кокорев Г.Д. Повышение эффективности системы технической эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве на основе инженерно-кибернетического подхода: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03/Г.Д. Кокорев. - Рязань, 2014 -483 с.

46. Корниенко, К. В. Анализ проведенных работ в области определения модуля деформации для слабых глинистых грунтов / К. В. Корниенко // Молодой ученый. – 2023. – № 21(468). – С. 54-61. – EDN UNTKXY.

47. Литвинов, А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств [Текст]: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин– М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

48. Лысов, М.И. Рулевые управления автомобилей [Текст]./ М.И. Лысов. – М.: Машиностроение, 1972. – 344 с.

49. Малыха, Е. Ф. Эффективность технического сервиса сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе / Е. Ф. Малыха, Ю. В. Катаев, О. В. Закарчевский // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2021. – № 2(71). – С. 118-124. – DOI 10.33938/212-118. – EDN GEWPEA.

50. Модернизация технологических машин как механизм продления назначенных ресурса и срока службы / И. Г. Голубев, Н. С. Севрюгина, А. С. Апатенко, А. Ю. Фомин // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 1. – С. 36-41. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-1-36-41. – EDN OLAGTY.

51. Мосолов, А. С. Влияние технического состояния рулевого управления на показатели активной безопасности легковых автомобилей / А. С. Мосолов, Р. Х. Хасанов // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Евразийское сотрудничество : Сборник материалов XV международной научно-практической конференции, Оренбург, 09–11 декабря 2020 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2020. – С. 424-428. – EDN AICCEK.

52. Мосолов, А. С. Исследование показателей активной безопасности легковых автомобилей с учётом технического состояния рулевого управления / А. С. Мосолов, Р. Х. Хасанов, Г. С. Сахатова // Прогрессивные технологии в транспортных системах : материалы XVI международной научно-практической конференции, Оренбург, 11–13 ноября 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Оренбургский государственный университет, Международная ассоциация автомобильного и дорожного образования, Уральское межрегиональное отделение Российской академии транспорта. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 324-330. – EDN BСJFII.

53. Мясников, А. С. Повышение профильной проходимости транспортных средств для перевозки грузов в сельском хозяйстве / А. С. Мясников, С. Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского

комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 4(68). – С. 568-579. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-04-66. – EDN HLMWEE.

54. Н.М. Беляев, Сопротивление материалов / Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1976г., стр 608. УДК 620.10

55. Надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, А. В. Чепурин, А. М. Карев, С. Л. Кушнарев. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : ООО "Триада", 2016. – 232 с. – ISBN 978-5-9546-0108-4. – EDN VMXSBJ.

56. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин / В. И. Черноиванов, В. А. Денисов, Ю. В. Катаев, А. А. Соломашкин // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 9(291). – С. 33-36. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-9-33-36. – EDN DQBNRT.

57. Обоснование геометрических параметров рулевой трапеции колесной машины / А. Н. Беляев, В. И. Орбинский, Т. В. Тришина, П. В. Шередекин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 16, № 2(77). – С. 116-123. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2023_2_116. – EDN UVVOLI.

58. Обслуживание техники в сельском хозяйстве / Р. В. Буранов, Е. М. Гридасов, А. А. Кузовлев, И. А. Тимофеев // Инновационные идеи молодых исследователей : Сборник научных статей по материалам XIV Международной научно-практической конференции, Уфа, 26 марта 2024 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2024. – С. 19-24. – EDN LFFCRT.

59. Определение закономерностей распределения отказов элементов, лимитирующих работоспособность легковых автомобилей / В. В. Гулый, А. А. Солнцев, А. Р. Асоян, В. С. Ершов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. – № 2(69). – С. 7-13. – EDN SCSZAO.

60. ОСТ 10.13.1-2000. Испытания сельскохозяйственной техники. Транспортные средства. Методы оценки функциональных показателей. – Введ.

2000-06-05 - М.: Минсельхозпрод России, 2000. – 38 с.

61. Остаточные напряжения в покрытиях, образованных методом электроискровой обработки / И. Н. Кравченко, С. А. Величко, В. А. Денисов [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2023. – № 4. – С. 52-60. – DOI 10.31857/S0235711923040077. – EDN XVKCSJX.

62. Патент № 2105964 С1 Российская Федерация, МПК G01M 17/06. стенд для испытания рулевого управления автомобиля : № 96111320/28 : заявл. 05.06.1996 : опубл. 27.02.1998 / И. А. Мурог, С. И. Трач, В. А. Горячев, А. А. Чубцов ; заявитель Военный автомобильный институт. – EDN QOPQML.

63. Патент № 2655966 С2 Российская Федерация, МПК B62D 5/06, B62D 15/02. Устройство для контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса, оборудованного гидроусилителем : № 2016146438 : заявл. 25.11.2016 : опубл. 30.05.2018 / А. А. Симдянкин, И. А. Успенский, Н. В. Бышов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). – EDN HUWDWD.

64. Патент на полезную модель № 136168 U1 Российская Федерация, МПК G01M 17/06, G01M 17/10. устройство для определения люфтов в рулевом управлении и подвеске автомобиля : № 2013140696/11 : заявл. 03.09.2013 : опубл. 27.12.2013 / А. П. Алексеев ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Центр инженерных услуг завода "ГАРО". – EDN MUSFAM.

65. Патент на полезную модель № 215945 U1 Российская Федерация, МПК B62D 7/14, B62D 12/00. Рулевая система поворота транспортного средства : № 2022128062 : заявл. 29.10.2022 : опубл. 11.01.2023 / А. Н. Беляев, В. Д. Бурдыкин, Т. В. Тришина [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. – EDN CFYGWI.

66. Пахомов, А. Н. Способ повышения показателей маневренности полноприводных колесных машин / А. Н. Пахомов // Научный резерв. – 2023. – № 3(23). – С. 2-10. – EDN MQEVNU.

67. Перспективные направления цифровизации в сфере технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники / И. Г. Голубев, В. В. Быков, М. И. Голубев [и др.] // Технический сервис машин. – 2023. – Т. 61, № 4(153). – С. 18-25. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-4-18-25. – EDN OQWEIY.

68. Повышение контролепригодности для надежноно - ориентированного технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники / А. С. Саяпин, М. Н. Костомахин, Е. В. Пестряков, Н. А. Петрищев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2024. – № 1(23). – С. 63-71. – EDN UZESJX.

69. Повышение послеремонтной безотказности агрегатов тракторов / В. П. Лялякин, Д. А. Гительман, Р. Ю. Соловьев, А. К. Ольховацкий // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2023. – № 6. – С. 36-42. – DOI 10.33920/sel-10-2306-04. – EDN ODUCUL.

70. Повышение эффективности использования машинно-тракторного парка в современных условиях: науч. издание / В.Ф. Федоренко, А.А. Ежевский, С.А. Соловьев и др. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 336 с.

71. Повышение эффективности процесса технической эксплуатации автомобильного транспорта в условиях агропромышленного производства / Г.Д. Кокорев, И.А. Афиногенов, Е.А. Журавлева, В.П. Воронов // В сборнике: Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса. Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции. 2018. С. 149-155.

72. Припоров, И. Е. Анализ малогабаритных транспортных средств для сельского хозяйства / И. Е. Припоров, Е. В. Гаврилов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3(89). – С. 115-119. – EDN KRRZZM.

73. Проблемы устройства дорожного полотна на землях

сельскохозяйственного назначения / В. В. Подтелков, А. В. Прокопенко, Д. С. Зеленков, М. А. Пшидаток // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 173. – С. 180-192. – DOI 10.21515/1990-4665-173-012. – EDN NLRUWX.

74. Прокопенко, В. С. Система рулевого управления грузовиком и взаимодействие с водителем / В. С. Прокопенко, В. А. Давыдов // Проблемы научной мысли. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 99-101. – EDN ZGWRFS.

75. Пухов, Е.В. Анализ направлений по совершенствованию технологий, оборудования и организации технического обслуживания транспортных и технологических машин в АПК [Текст] / Е.В. Пухов, М.Г. Тимошинов // В сборнике: НАУКА ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА. Материалы научно-практической конференции. 2016. С. 250-254.

76. Пухов, Е.В. Разработка информационной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом транспортных и технологических машин [Текст] / Е.В. Пухов, Ян. В. Комаров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего 10 профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2016. № 5 (75). С. 35-39.

77. Пухов, Е.В. Техническое обслуживание сельскохозяйственной техники с использованием технологии дополненной реальности [Текст] / Е.В. Пухов, Д.А., 110 Золотарев // В сборнике: Материалы Национальной научно-практической конференции "Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе", посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. 2019. С. 9-13.

78. Радовский, А. С. Экспресс-диагностика рулевого управления транспортных средств при проведении автотехнических экспертиз / А. С. Радовский // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. – 2020. – № 1(47). – С. 191-197. – EDN TRFDQG.

79. Разговоров, К. И. Экспертиза рулевого управления автотранспортных средств / К. И. Разговоров // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2021. – № 34. – С. 101-103. – EDN IQNLWJ.

80. Разработка технологии и опыт производства шаровых пальцев грузового автомобиля из экономно-легированной стали / В. И. Астащенко, Е. В. Пуртова, Т. В. Швеева, А. В. Пуртов // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – № 4. – С. 133-140. – DOI 10.18822/byusu202304133-140. – EDN BDNSLO.

81. Рампель, Й. Шасси автомобиля: Рулевое управление [Текст]./ Й. Рампель. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.

82. Расчет нормальной жесткости и параметров пятен контакта шин сверхнизкого давления для сельскохозяйственной техники / Е. В. Балакина, З. А. Годжаев, А. А. Коньшин, М. С. Кочетов // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 1. – С. 49-58. – DOI 10.17816/0321-4443-133657. – EDN ZEOCCB.

83. Редчиц, В.В. Определение моментов сопротивления повороту колесных машин [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.03 / Редчиц Владимир Васильевич - Харьков, 1974. – 170 с.

84. Росстат подсчитал, сколько автомобилей выпустили в 2023-м. –Текст : электронный // Автомобильные новости: официальный сайт. – 2024. – URL: <https://news.drom.ru/96120.html> (дата обращения: 08.05.2024).

85. Руководство по эксплуатации ИСЛ-М. – Текст : электронный // Компания ТехАвто производитель и поставщик автосервисного оборудования в России. Официальный сайт. – 2024. – URL: <https://www.teh-avto.ru> (дата обращения: 14.06.2024)

86. Рынок сельскохозяйственной техники: проблемы и перспективы развития : Аналитический обзор / В. Н. Кузьмин, П. И. Бурак, И. Л. Орсиц [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2021. – 200 с. – EDN WNQWMQ.

87. Савицкая Г.В. Экономический анализ: Учебник / Г.В. Савицкая - М.:

Анализ хозяйственной деятельности предприятия АПК, 2004. - 640 с.

88. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620183 Российская Федерация. Методологические основы научных исследований : № 2021620061 : заявл. 21.01.2021 : опубл. 28.01.2021 / И. Н. Кравченко, Е. П. Парлюк, С. Ю. Корнеева [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN SURLVE.

89. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620218 Российская Федерация. Методологические основы организации научно-исследовательской деятельности : № 2021620064 : заявл. 21.01.2021 : опубл. 03.02.2021 / И. Н. Кравченко, Е. П. Парлюк, С. Ю. Корнеева [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN СКВТВV.

90. Семьинин, М. В. Анализ актуальных методов повышения надежности рулевого управления сельскохозяйственного транспорта при передвижении по деформируемому грунту / М. В. Семьинин, М. Ю. Костенко // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2023. – Т. 85, № 3(97). – С. 36-41. – DOI 10.20914/2310-1202-2023-3-36-41. – EDN FНJBUR.

91. Семьинин, М. В. Влияние деформируемого грунта на управляемость автомобилей / М. В. Семьинин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 158-165. – DOI 10.36508/RSATU.2023.67.54.022. – EDN AVJPXC.

92. Семьинин, М. В. Влияние диагностирования на эффективность эксплуатации рулевого управления автомобилей в АПК // Вестник Рязанского

государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024, Т.16, № 3. С.164-170 – DOI 10.36508/RSATU.2024.40.51.021.

93. Семынин, М. В. Рулевое управление грузовых автомобилей, перспективные пути совершенствования / М. В. Семынин, В. В. Семынин, М. Ю. Костенко // Современные направления повышения эффективности использования транспортных систем и инженерных сооружений в АПК : Материалы Международной студенческой научно-практической конференции, Рязань, 16 февраля 2022 года / МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 261-267. – EDN BDTNSD.

94. Семынин, М. В. К вопросу снижения износа шаровых соединений транспортных средств сельскохозяйственного назначения / М. В. Семынин, М. Ю. Костенко // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2022. – № 4(41). – С. 96-102. – DOI 10.35523/2307-5872-2022-41-4-96-102. – EDN GEYMYK.

95. Семынин, М. В. Свойства и рельеф почвы в период уборки картофеля / М. В. Семынин, М. Ю. Костенко, Н. А. Костенко // Инновационный вектор развития отечественного АПК: Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 23 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 120-126. – EDN WCSWGF.

96. Семынин, М. В. Влияние углов установки управляемых колес на силовое взаимодействие с почвой / М. В. Семынин, М. Ю. Костенко, // Научные приоритеты в АПК: вызовы современности: материалы 75-й юбилейной международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2024 года.

– Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2024. – С. 100-104. – EDN RPDVGE.

97. Семьинин, М. В. Оценка надежности рулевого управления сельскохозяйственной техники при передвижении по деформируемому грунту / М. В. Семьинин, М. Ю. Костенко // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 09 февраля 2023 года – 10 2023 года. Том Книга 1. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2023. – С. 161-164. – EDN HJKTXG.

98. Семьинин, М. В. К вопросу о маневренности автомобильной техники / Семьинин М.В., Костенко М.Ю. // Современное состояние: проблемы и перспективы развития АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 29–30 апреля 2022 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д.К. Беляева, 2022. – С. 305-312. – EDN NDJQZW.

99. Система дистанционного мониторинга технического состояния с функцией контроля соблюдения режимов мобильных энергосредств / М. Н. Костомахин, Ю. В. Катаев, Н. А. Петрищев [и др.] // Вестник машиностроения. – 2022. – № 1. – С. 67-71. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-1-67-71. – EDN PPUGYK.

100. Совершенствование методов контроля и диагностики свойств металлоконструкций в условиях коррозионного воздействия / М. Н. Ерофеев, А. И. Чмыхало, В. В. Спирыгин [и др.] // Технология металлов. – 2022. – № 7. – С. 40-53. – DOI 10.31044/1684-2499-2022-0-7-40-53. – EDN GMEXUJ.

101. Совершенствование подходов к диагностированию для управления надежностью сельскохозяйственной техники / М. Н. Костомахин, А. С. Саяпин, Е. В. Пестряков, Н. А. Петрищев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 1. – С. 57-64. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-1-57-64. – EDN ZVFFYO.

102. Совершенствование средств диагностирования как фактор повышения ресурсосбережения при эксплуатации сельскохозяйственной техники / М. Н. Костомахин, А. С. Саяпин, Е. В. Пестряков, Н. А. Петрищев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2023. – № 1(22). – С. 103-111. – EDN DLWGGI.

103. Совершенствование эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве путем повышения надежности рулевого управления / Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский, А. А. Симдянкин, И. А. Афиногенов // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России : Материалы национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2016 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2016. – С. 83-87. – EDN YPGLAD.

104. Соломашкин, А. А. Определение среднего фактического ресурса деталей машин и вероятности отказа / А. А. Соломашкин, М. Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2024. – № 4. – С. 48-54. – DOI 10.33920/sel-10-2404-03. – EDN NMNUUQ.

105. Соломашкин, А. А. Техническое состояние сельскохозяйственных машин / А. А. Соломашкин, М. Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2021. – № 7. – С. 53-61. – EDN GOHRZD.

106. СП 99.13330.2016 Свод правил внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях, и организациях.

107. Степанов, Н. Н. Анализ и пути повышения эффективности использования автомобильного транспорта в сельскохозяйственных предприятиях / Н. Н. Степанов, А. А. Бричагина, Н. В. Степанов // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы

всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 04–05 марта 2021 года. Том III. – Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 110-117. – EDN DKXTWP.

108. Стратегия технического обслуживания и ремонта автомобиля КАМАЗ / А.Г. Жутов, Д.С. Гапич, Г.И. Жидков, А.Ю. Попов // Научная жизнь. 2018. № 12. С. 24-28.

109. Тарасик, В. П. Методика оценки управляемости и устойчивости автомобиля при движении на вираже / В. П. Тарасик, О. В. Пузанова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – № 3(64). – С. 93-103. – DOI 10.53078/20778481_2019_3_93. – EDN FDOOZF.

110. Теория автомобиля: учебник / В.Н. Кравец; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд., переработ. – Нижний Новгород, 2013. – 413 с. ISBN 978-5-502-00192-2

111. Технический осмотр, диагностика и обслуживание автотранспорта : научное, методическое, справочное пособие / А. И. Потапов [и др.]. - Санкт-Петербург : Научное изд-во биографической международной энциклопедии "Гуманистика", 2008. - 902, [1] с. : ил., табл.; 27 см.; ISBN 5-86050-314-8

112. Техническое сопровождение сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев, В. С. Герасимов, Н. К. Баулин [и др.] // Технический сервис машин. – 2022. – № 2(147). – С. 51-59. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-51-59. – EDN GRCAKF.

113. Тойгамбаев, С. К. Методика определения периодичности технического обслуживания и ремонта эксплуатируемых машин / С. К. Тойгамбаев, В. А. Евграфов, Е. С. Буканов // Заметки ученого. – 2022. – № 5. – С. 262-275. – EDN MGGTHK.

114. Улезько, А. В. Развитие системы транспортного обеспечения интегрированных агропромышленных формирований / А. В. Улезько, А. С. Наумов, А. А. Казанцев. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2015. – 173 с. – ISBN 978-5-7267-0771-6. – EDN TRUDJV.

115. Формирование мобильных ремонтно-диагностических комплексов в АПК / Ю. В. Катаев, В. С. Герасимов, И. А. Тишанинов, Е. А. Градов // Технический сервис машин. – 2023. – Т. 61, № 4(153). – С. 5-9. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-4-5-9. – EDN QNZXUD.

116. Фролов, В. Г. Диагностика технического состояния рулевого управления легковых автомобилей / В. Г. Фролов, Д. А. Тверсков // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств : Сборник научных трудов по материалам XVI Международной научно-технической конференции, Саратов, 16 апреля 2021 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2021. – С. 220-226. – EDN FEJKRP.

117. Хабардин, А. В. Совершенствование контроля рулевого управления колесных тракторов при их техническом обслуживании : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хабардин Андрей Васильевич. – Новосибирск, 2012. – 19 с. – EDN QICERJ.

118. Характеристика показателей надёжности работы деталей машин сельскохозяйственного назначения / А. В. Грибенченко, А. И. Ряднов, Д. С. Гапич, В. А. Моторин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2(70). – С. 507-515. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-02-59. – EDN VRTLAU. Чайковский, И.П. Рулевые управления автомобилей [Текст] / И.П. Чайковский, П.А. Саломатин. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.

119. Храпова, Т. Е. Техническое обслуживание и качественный ремонт – основа бесперебойной работы сельскохозяйственной техники / Т. Е. Храпова, И. А. Успенский, Г. К. Рембалович // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань:

Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 286-289. – EDN WHGIML.

120. Чебоксаров, А. Н. Способ диагностирования рулевого управления автомобилей / А. Н. Чебоксаров // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2022. – № 2(60). – С. 16-22. – EDN EVSORF.

121. Черноиванов, В. И. История развития ремонтной базы сельскохозяйственной техники в России / В. И. Черноиванов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 4-12. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12. – EDN XENHQI.

122. Чернухин, Р. В. Выявление доли отказов рулевого управления грузовых автомобилей / Р. В. Чернухин, С. В. Соболев, А. В. Обухов // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – Т. 3, № 1. – С. 247-251. – EDN RNHISB.

123. Шемякин, А. В. Способ повышения срока эксплуатации сельскохозяйственной техники / А. В. Шемякин, М. Б. Латышенок, В. В. Терентьев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2017. – № 1(70). – С. 50-56. – DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-50-56. – EDN YLZGDF.

124. Шибает, Д. Л. Анализ методов проверки рулевого управления автотранспортных средств / Д. Л. Шибает, Ф. Х. Халиуллин // Научные исследования и разработки: новое и актуальное : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Ростов-на-Дону, 26 мая 2021 года. Том Часть 1. – Ростов-на-Дону: ООО "Издательство ВВМ", 2021. – С. 440-445. – EDN VHZSEN.

125. Яковлев, К. А. Выбор люфтомеров для диагностики рулевого управления автобусов Волжанин / К. А. Яковлев, Г. А. Чернова // 17-я Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ВПИ (филиал) ВолгГТУ : Сборник материалов конференции, Волжский, 23–27 января 2018 года. – Волжский: Волжский политехнический институт - филиал

Волгоградского государственного технического университета, 2018. – С. 83-88.
– EDN XYLFRG.

126. Development of an Algorithm for productive use of the irrigated land / D. Abdumuminova, I. N. Kravchenko, Yu. A. Kuznetsov [et al.] // *Poljoprivredna Tehnika*. – 2021. – Vol. 46, No. 2. – P. 67-75. – DOI 10.5937/PoljTeh2102067A. – EDN WVHIGE.

127. Moreno, G., Manenti, V., Guerero, G., et al. (2018). Stability of heavy articulated vehicles: effect of load distribution. *Transportation Research Procedia*, 33, 211–218.

128. Optimization of Layout Solutions of Technological Complexes of Mechanical Assembly Production by Reducing Traffic Flows / A. A. Kovalev, I. N. Kravchenko, Ya. O. Shaposhnikov [et al.] // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. – 2023. – Vol. 52, No. 8. – P. 916-929. – DOI 10.1134/S1052618823080125. – EDN CJOMDB.

129. Oubahdou, Y., Wallace, E. R., Reynaud, P., Picoux, B., Dopeux, J., Petit, C., & Nélias, D. (2021). Effect of the tire – Pavement contact at the surface layer when the tire is tilted in bend. *Construction and Building Materials*, 305, 124765. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124765>

130. Song, W., Woods, J. L., Davis, R. T., Offutt, J. K., Bellis, E. P., Handler, E. S., & Stone, T. W. (2015). Failure Analysis and Simulation Evaluation of an Al 6061 Alloy Wheel Hub. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 15(4), 521-533.

131. Study and Comparison of the Methods of Testing the Tillage Tool Materials / S. Li, A. L. Galinovskii, I. N. Kravchenko, T. N. Borovik // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2023. – Vol. 2023, No. 13. – P. 2133-2139. – DOI 10.1134/s003602952370043x. – EDN JTATZZ.

132. Yao, Z. W., Wang, G. Q., Li, X. F., et al. (2014). Dynamic simulation for the rollover stability performances of articulated vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 228, 771–783.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер

ООО «Авангард»

Рязанского района

Рязанской области

Липатов Н.В.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Семынина Михаила Владимировича «Совершенствование эксплуатации элементов рулевого управления транспортных средств в АПК» в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области

Комиссия в составе: представителей ООО «Авангард» главного инженера Липатова Н.В., заведующего гаражом Унчикова А.В., профессора кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцента кафедры ТМ и РМ Безносюка Р.В., ассистента кафедры ТМ и РМ Юмаева Д.М., аспиранта кафедры ТМ и РМ Семынина М.В., подтверждает, что материалы диссертационной работы Семынина Михаила Владимировича «Совершенствование эксплуатации элементов рулевого управления транспортных средств в АПК» используются в технологическом процессе:

1. При выполнении диагностирования автомобилей семейства УАЗ предложен алгоритм диагностики механизма рулевого управления.

2. При техническом обслуживании автомобилей для обеспечения безотказной работы рулевого управления предложены рекомендации по срокам диагностирования суммарного люфта рулевого механизма автомобилей хозяйства.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

3. Для диагностирования рулевого управления используется оценка суммарного люфта, как комплексный показатель для оценки различных категорий автомобилей.

4. Использование прибора ИСЛ-М для диагностирования предоставляет достоверную информацию о состоянии рулевого управления при незначительных временных затратах.

Экономический эффект от внедрения достигается за счет снижения затрат на проведение технического обслуживания и ремонта, снижения времени простоя в ремонте и периодичности диагностирования суммарного люфта. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат в расчете на 10 автомобилей составляет 6142 рубля, при среднем годовом пробеге 13700 км.

Подписи:

Заведующий гаражом

ООО «Авангард»



Унчиков А.В.

Профессор кафедры

ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ



Костенко М.Ю.

Доцент кафедры

ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ



Безносюк Р.В.

Ассистент кафедры

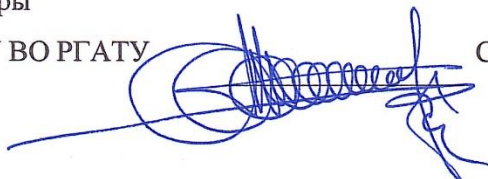
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ



Юмаев Д.М.

Аспирант кафедры

ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ



Семьинин М.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1 Значения среднего люфта автомобилей семейства УАЗ с различными пробегами после очередного ТО.

| Марка авто | УАЗ Патриот | УАЗ Патриот | УАЗ Патриот | УАЗ Патриот | УАЗ 452 | УАЗ 452 | УАЗ 452 | УАЗ 452 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Пробег автомобиля между проведения ми ТО (м) | 5455,5 | 6249 | 7246,5 | 7756,5 | 11827,5 | 11934 | 12153 | 12814,5 |
| Среднее значение суммарног о люфта (градус) | 2,25 | 2,65 | 2,77 | 2,99 | 4,19 | 4,75 | 4,93 | 5,12 |
| Норматив ГОСТ Р 51709 (градус) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Среднее значение суммарног о люфта (градус) | 3,95 | | | | | | | |

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 2 Результаты проведения исследования углов установки колес
автомобилей хозяйства ООО «Авангард»

| Марка авто | Пробег автомобиля между проведениями ТО (километр) | Суммарное схождение (градус) | Развал левого колеса (градус) | Развал правого колеса (градус) |
|----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|
| УАЗ 452 | 5455 | 0,12' | 0,20' | 0,04' |
| УАЗ 452 | 6249 | 0,06' | 0,18' | 0,01' |
| УАЗ 452 | 7246 | -0,02' | 0,13' | -0,03' |
| УАЗ 452 | 7756 | -0,07' | 0,09' | -0,07' |
| Норматив (градус) | | +0,14'...+0,27' | +1,00'...+2,00' | +1,00'...+2,00' |
| УАЗ Патриот | 11934 | 1,03' | 0,24' | -0,20' |
| УАЗ Патриот | 12153 | 0,7' | 0,19' | -0,29' |
| УАЗ Патриот | 12814 | -0,02' | 0,11' | -0,31' |
| УАЗ Патриот | 13482 | -0,09' | 0,02' | -0,44' |
| Норматив (градус) | | +0,04'...+0,10' | +0,10'...+1,10' | +0,10'...+1,10' |

Таблица 3 Технические характеристики балансировочного станка «СВ1960В»

| | |
|--|-----------------------|
| Диаметр диска | 8"-28" |
| Ширина диска (динамическая балансировка) | 1.5"-20" |
| Время измерения | 7 сек |
| Макс. диаметр колеса | 1100 мм / 39" |
| Макс. вес колеса | 70 кг |
| Диаметр вала | 40 мм |
| Точность балансировки | ± 1 г |
| Потребляемая мощность | 100 Вт |
| Электропитание | 1Ф.х220-230/50 В / Гц |
| Габариты (ШхГхВ) | 1350х1450х950 мм |
| Вес (в упаковке) | 140 кг |

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица 4 Результаты исследования дисбаланса колес автомобилей хозяйства
ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области.

| Марка авто | Номер колеса | Внутренняя сторона диска | Внешняя сторона диска |
|-------------|--------------|-----------------------------|--------------------------|
| УАЗ 452 | Колесо 1 | 25 | 10 |
| | Колесо 2 | 15 | 25 |
| | Колесо 3 | 25 | 10 |
| | Колесо 4 | 25 | 35 |
| УАЗ 452 | Колесо 1 | 15 | 20 |
| | Колесо 2 | 40 | 35 |
| | Колесо 3 | 15 | 15 |
| | Колесо 4 | 25 | 30 |
| УАЗ 452 | Колесо 1 | 25 | 35 |
| | Колесо 2 | 15 | 30 |
| | Колесо 3 | 35 | 10 |
| | Колесо 4 | 35 | 15 |
| УАЗ 452 | Колесо 1 | 25 | 25 |
| | Колесо 2 | 45 | 35 |
| | Колесо 3 | 25 | 20 |
| | Колесо 4 | 30 | 10 |
| УАЗ Патриот | Колесо 1 | 15 | 45 |
| | Колесо 2 | 35 | 15 |
| | Колесо 3 | 15 | 20 |
| | Колесо 4 | 25 | 15 |

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Д

| | | | |
|-------------|----------|----|----|
| УАЗ Патриот | Колесо 1 | 20 | 25 |
| | Колесо 2 | 15 | 25 |
| | Колесо 3 | 45 | 15 |
| | Колесо 4 | 10 | 20 |
| УАЗ Патриот | Колесо 1 | 25 | 40 |
| | Колесо 2 | 30 | 20 |
| | Колесо 3 | 35 | 50 |
| | Колесо 4 | 20 | 30 |
| УАЗ Патриот | Колесо 1 | 25 | 15 |
| | Колесо 2 | 10 | 25 |
| | Колесо 3 | 55 | 35 |
| | Колесо 4 | 15 | 25 |