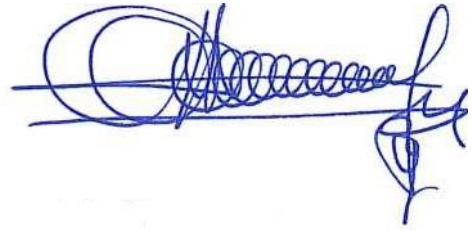


*На правах рукописи*



**СЕМЫНИН МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО  
СРЕДСТВА В АПК**

Специальность: 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань, 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Костенко Михаил Юрьевич**

**Официальные оппоненты:** **Голубев Иван Григорьевич,**  
доктор технических наук, профессор, ФГБНУ  
«Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса»,  
главный научный сотрудник отдела научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК

**Кравченко Игорь Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО  
«РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева»,  
профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится «24» декабря 2024 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: [www.rgatu.ru](http://www.rgatu.ru), с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 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, Юхина И.А. 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 автомобилей 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.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность, сформулирована цель, отмечены научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований»** рассмотрены современные транспортные средства, проведен анализ влияния условий эксплуатации на функциональные показатели транспортного средства. Выявлена недостаточная изученность влияния конкретных условий эксплуатации на техническое обслуживание и методы диагностирования рулевого управления автомобилей. Таким образом, необходимо

совершенствование эксплуатации рулевого управления транспортных средств в условиях конкретного предприятия.

Во второй главе «Теоретические исследования влияния условий эксплуатации автомобилей на рулевое управление» проанализированы факторы, влияющие на рулевое управление. Такими факторами являются условия эксплуатации: дорожные условия, неуравновешенные воздействия, а также технические и организационные мероприятия (рис. 1).

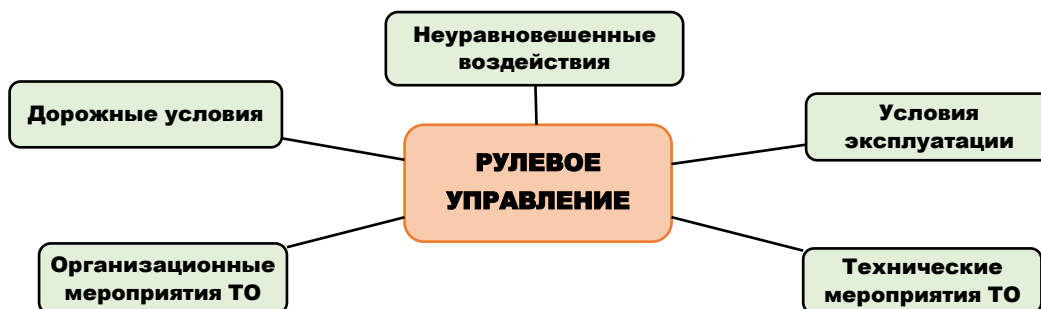
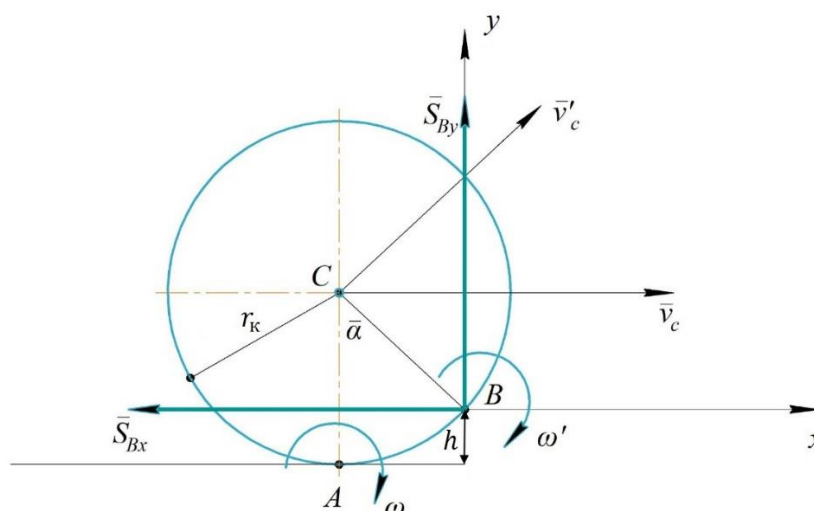


Рисунок 1 – Схема факторов, влияющих на рулевое управление автомобиля в АПК

При эксплуатации в АПК автомобили преимущественно передвигаются по дорогам 3 категории. Наиболее часто встречающимися повреждениями дорожного полотна являются просадки, выбоины, выкрашивание, проломы, трещины.

Рассмотрим движение колеса по выбоинам. При выезде колеса из выбоины оно ударяется о кромку расположенную на высоте  $h$  (рисунок 2).



$S_B$  – ударный импульс колеса, кг·м/с;  $\omega$  – угловая скорость колеса, рад/с;  $\omega'$  – угловая скорость колеса при ударе о кромку выбоины, рад/с;  $V_c$  – поступательная скорость движения колеса, м/с; где  $V'_c$  – скорость центра колеса при ударе о кромку выбоины, м/с;  $\alpha$  – угол между вертикальной осью и кромкой выбоины, градус;  $r_k$  – радиус колеса, м;  $h$  – высота кромки выбоины, м

Рисунок 2 – Расчетная схема выезда колеса из выбоины

Рассмотрим наиболее не благоприятный 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. Применим теорему об изменении кинетического момента

$$L_{Bz}(t_0) = mV_c(r_k - h) + J_{Cz}\omega \quad (1)$$

где  $J_{Cz} = \frac{mr_k^2}{2}$  - момент инерции колеса относительно оси  $z_c$ , кг · м<sup>2</sup>;

$\omega = \frac{V_c}{r_k}$  - угловая скорость колеса, рад/с;

$r_k$  - радиус колеса, м;

$h$  - глубина выбоины, м;

$V_c$  - поступательная скорость движения колеса, м/с;

$t$  - время, с;

$m$  - масса управляемого колеса, кг.

Поступательную скорость центра колеса можно представить в следующем виде

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

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

При анализе проезда выбоин будем рассматривать выезд из нее, так как он связан с наибольшей нагрузкой на рулевой механизм.

Деформация рулевого управления повышается при увеличении зазора в шарнирах. При этом работа по деформации шарнира рулевого управления

$$T_k - T_0 = A_{ш} = F_{ш} \cdot (\Delta + \delta_{ш}) \quad (3)$$

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

$T_k$  - конечная кинетическая энергия, Дж;

$T_0$  - начальная кинетическая энергия, Дж;

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

$\Delta$  - величина зазора в шарнире, м;

$\delta_{ш}$  - статическая деформация шарнира, м.

Деформация шарнира определяется с учетом упругих деформаций (закон Гука)

$$\delta_{ш} = \frac{F_{ш}}{c} \quad (4)$$

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

$c$  - жесткость материала шарнира, Н/м.

При ударе, возникающем в шарнире при наличии зазора динамический коэффициент возрастает (рисунок 3).

$$\delta_d = \delta_{ш} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2\Delta}{\delta_{ш}}} \right] = K_d \delta_{ш} \quad (5)$$

где  $\delta_d$  – динамическая деформация шарнира, м;

$K_d$  – динамический коэффициент.

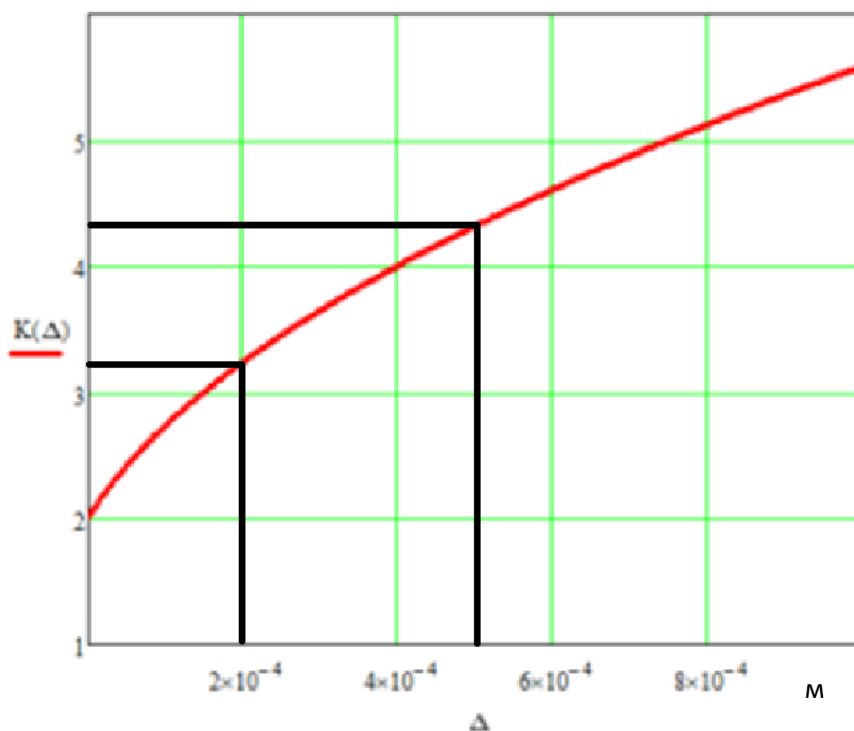


Рисунок 3 – Зависимость изменения коэффициента динамичности от зазора в шарнире

При величине зазора  $2 \cdot 10^{-4}$  м коэффициент динамичности составляет 3,3. Таким образом с увеличением величины зазора повышается динамический коэффициент.

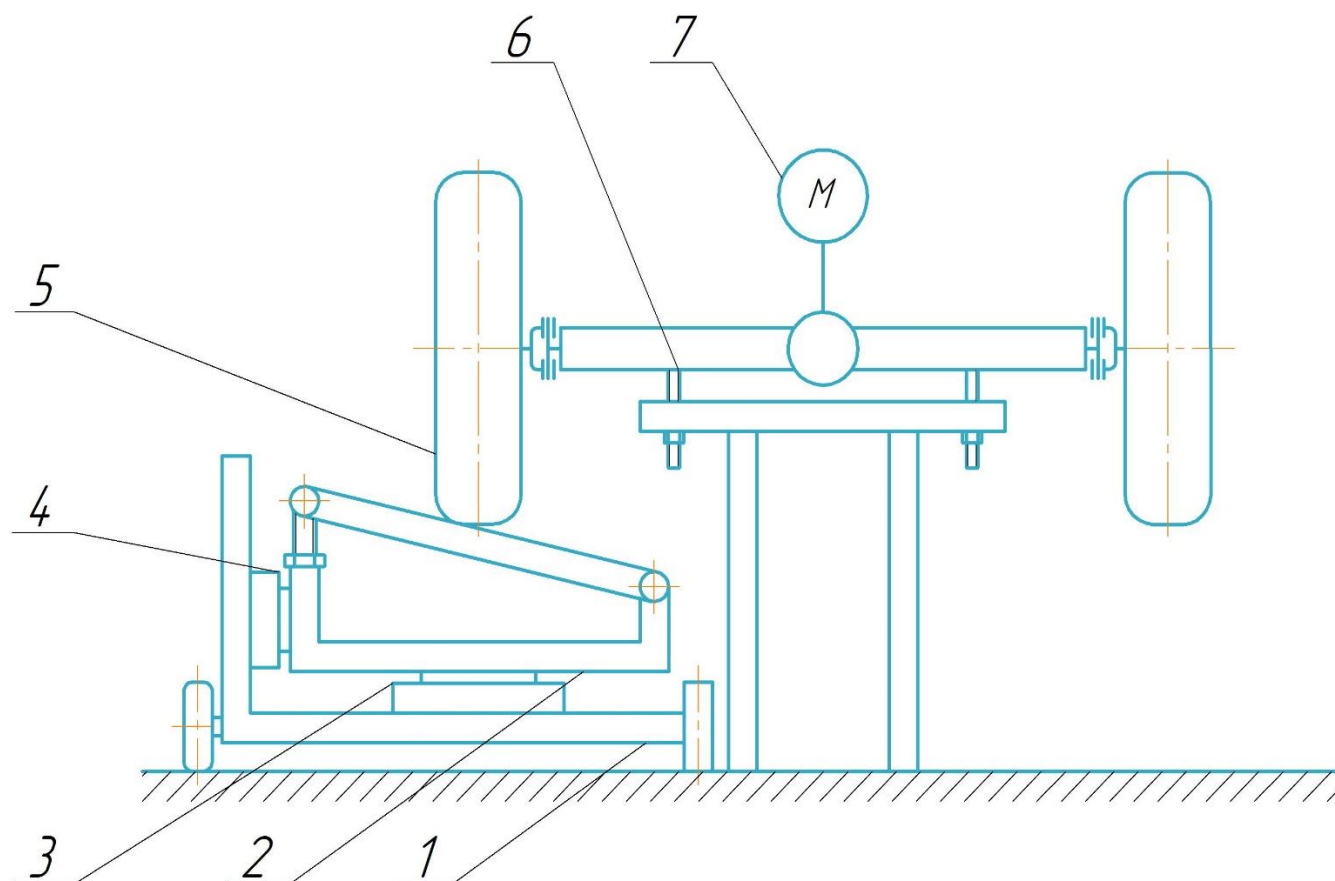
При маневрировании транспортного средства по полевым дорогам в АПК увеличивается нагрузка на рулевой механизм. Наиболее нагруженными элементами рулевого управления являются рулевые наконечники, которые работают в условиях сложного напряженного состояния. При повороте колеса на поворотном кулаке возникают динамические моменты, которые нагружают рулевые наконечники. Проведено 3D моделирование нагруженности рулевых наконечников. Наиболее нагруженным элементом является палец рулевого наконечника.



В третьей главе «Программа, методики и результаты экспериментальных исследований» приведены методики и результаты лабораторных и производственных исследований.

Для экспериментов была разработана и изготовлена лабораторная установка (рисунок 4).

Экспериментальное исследование проводилось в виде двух трехфакторных экспериментов 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».



1 – поворотная рама; 2 – платформа с регулируемым углом наклона; 3 – горизонтальные весы; 4 – вертикальные весы; 5 – нагружаемое колесо; 6 – шпильки механизма нагружения колеса; 7 – электродвигатель

Рисунок 4 – Лабораторная установка для исследования силового взаимодействия ведущего колеса с платформой

В результате для вертикального усилия получено следующее уравнение регрессии (в кодированных значениях факторов).

$$F_z = 865,7325 + 239,8545 \cdot \lambda - 112,815 \cdot \psi + 320,0513 \cdot \lambda^2 - 110,3625 \cdot \lambda \cdot \psi - 518,0906 \cdot \psi^2 \quad (6)$$

где  $F_z$  – вертикальное усилие колеса, Н;

$\psi$  – угол поворота колеса;

$\lambda$  – угол наклона рельефа

Наиболее значимым фактором уравнения регрессии является угол поворота колеса. На основании уравнения регрессии построена зависимость вертикального усилия от угла наклона рельефа и угла поворота колеса (рисунок 5).

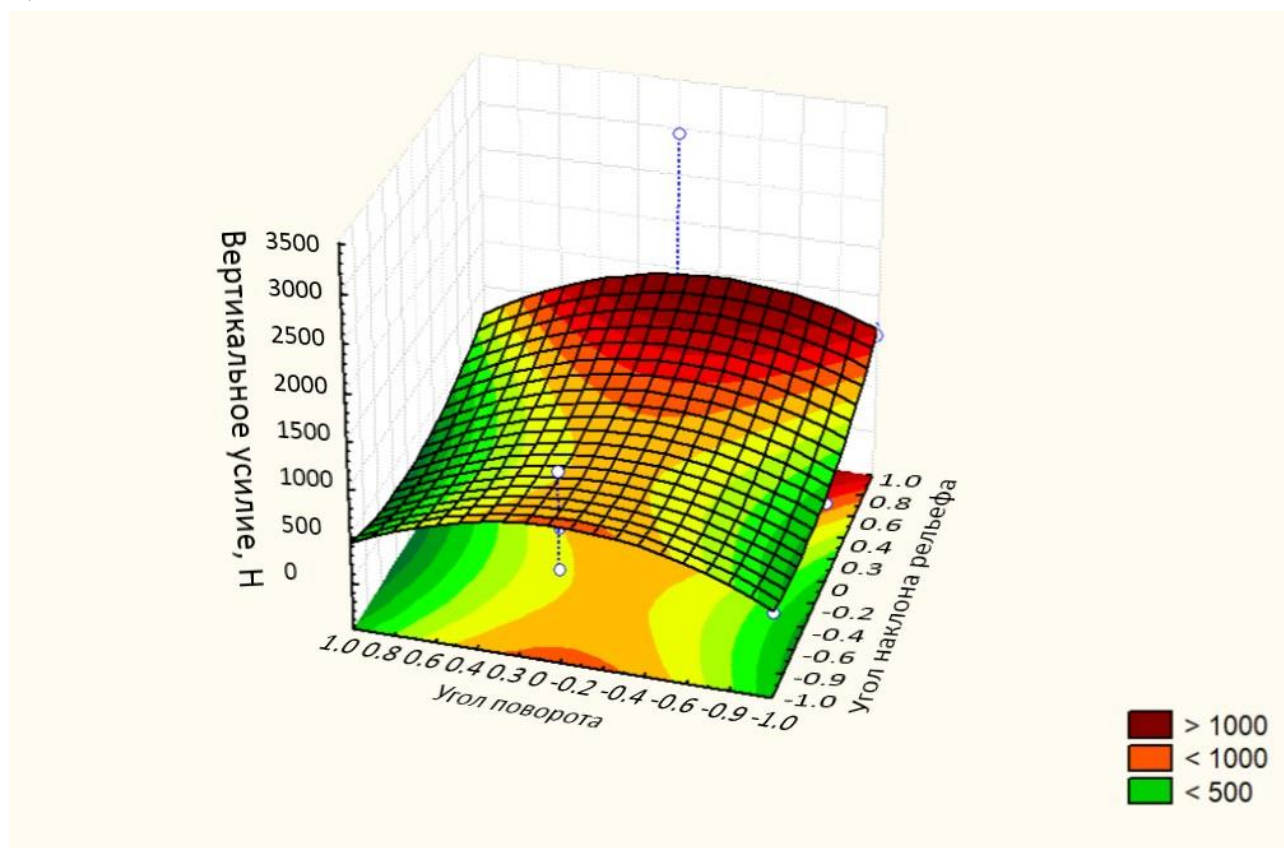


Рисунок 5 – Зависимость вертикального усилия от угла наклона рельефа и угла поворота колеса

Анализ рисунка 5 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.

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

$$F_x = 1064,1397 + 221,2155 \cdot \lambda + 110,9756 \cdot \psi - 121,5214 \cdot \lambda^2 + 89,5162 \cdot \psi \cdot \lambda - 447,2747 \cdot \psi^2 \quad (7)$$

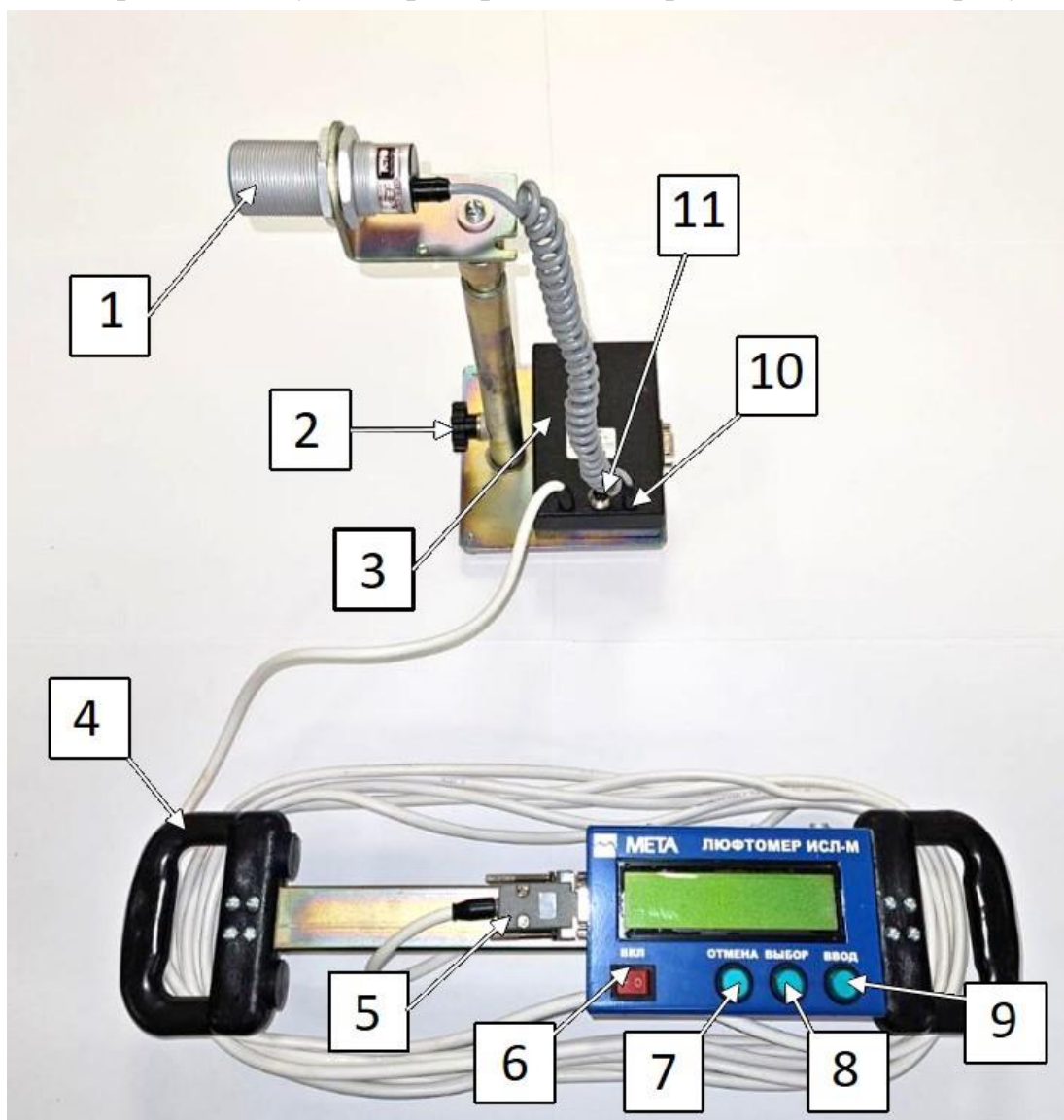
где  $F_x$  – боковое усилие колеса, Н;

$\psi$  – угол поворота колеса;

$\lambda$  – угол наклона рельефа

Боковое усилие взаимодействия колеса с наклонной поверхностью в значительной мере определяется углом наклона рельефа. С увеличением угла наклона рельефа боковое усилие при взаимодействии колеса с поверхностью возрастает. Установлено, что боковое усилие при поворотах и наезде на препятствие (наклонный рельеф) превышает значения вертикального усилия на 30,5%.

Определение суммарного люфта позволяет получить комплексную оценку технического состояния рулевого управления автомобиля. Для определения суммарного люфта используется прибор ИСЛ-М, представленный на рисунке 6.



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 6 – Общий вид прибора ИСЛ-М

Измерение угла поворота управляемых колес происходит с помощью датчика гироскопа на основе сигнала индуктивного датчика диска колеса при вращении рулевого колеса в разных направлениях. Датчик движения колеса (ДДК) закреплен на штативе, выполненным в виде телескопических трубок.

На основании анализа регрессионных уравнений установлено, что наибольшую адекватность опытным данным имеет полиномиальная модель 4й степени (рисунок 7).

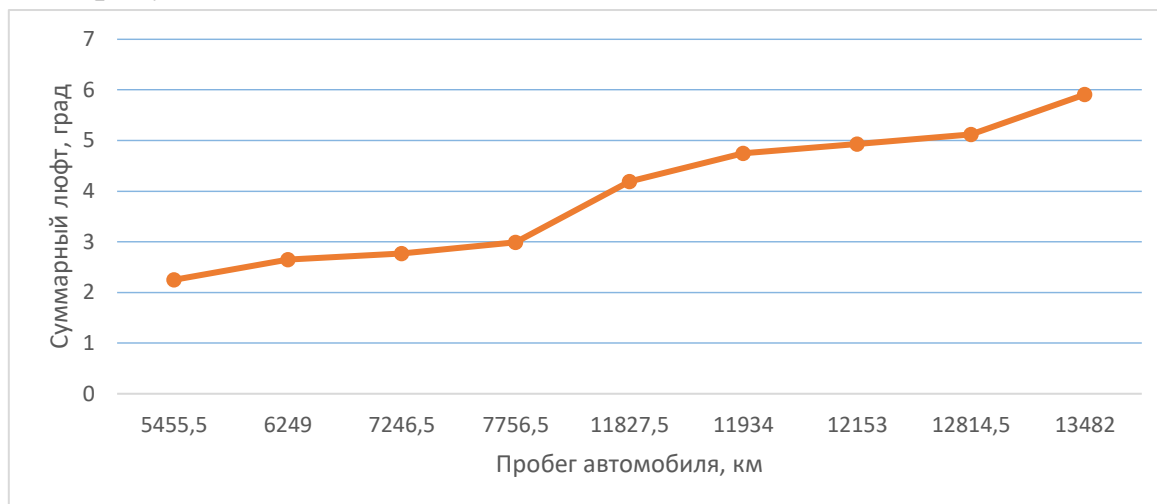


Рисунок 7 – Зависимость суммарного люфта от пробега автомобилей между очередными ТО

Из рисунка 8 видно, что величина суммарного люфта определяется величиной пробега автомобиля, а также условиями эксплуатации машины. Следует отметить, что условия эксплуатации могут значительно влиять на износ рулевого механизма, который приводит к увеличению суммарного люфта. Средняя величина суммарного люфта исследуемого автомобиля в условиях движения по внутрихозяйственным дорогам составляет 3,95 градуса при среднем пробеге 9879,8 километров.

В результате исследований суммарного люфта автомобилей получены средние значения люфта автомобилей семейства УАЗ с различными пробегами после очередного ТО. По полученным данным построены регрессионные уравнения на основе различных математических моделей (таблица 1).

Таблица 1 – 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)	$y = 0,0033x^4 - 0,0751x^3 + 0,5779x^2 - 1,2453x + 3,0956$	$R^2 = 0,9712$

8). Для диагностирования рулевого механизма предложен алгоритм (рисунок 8).

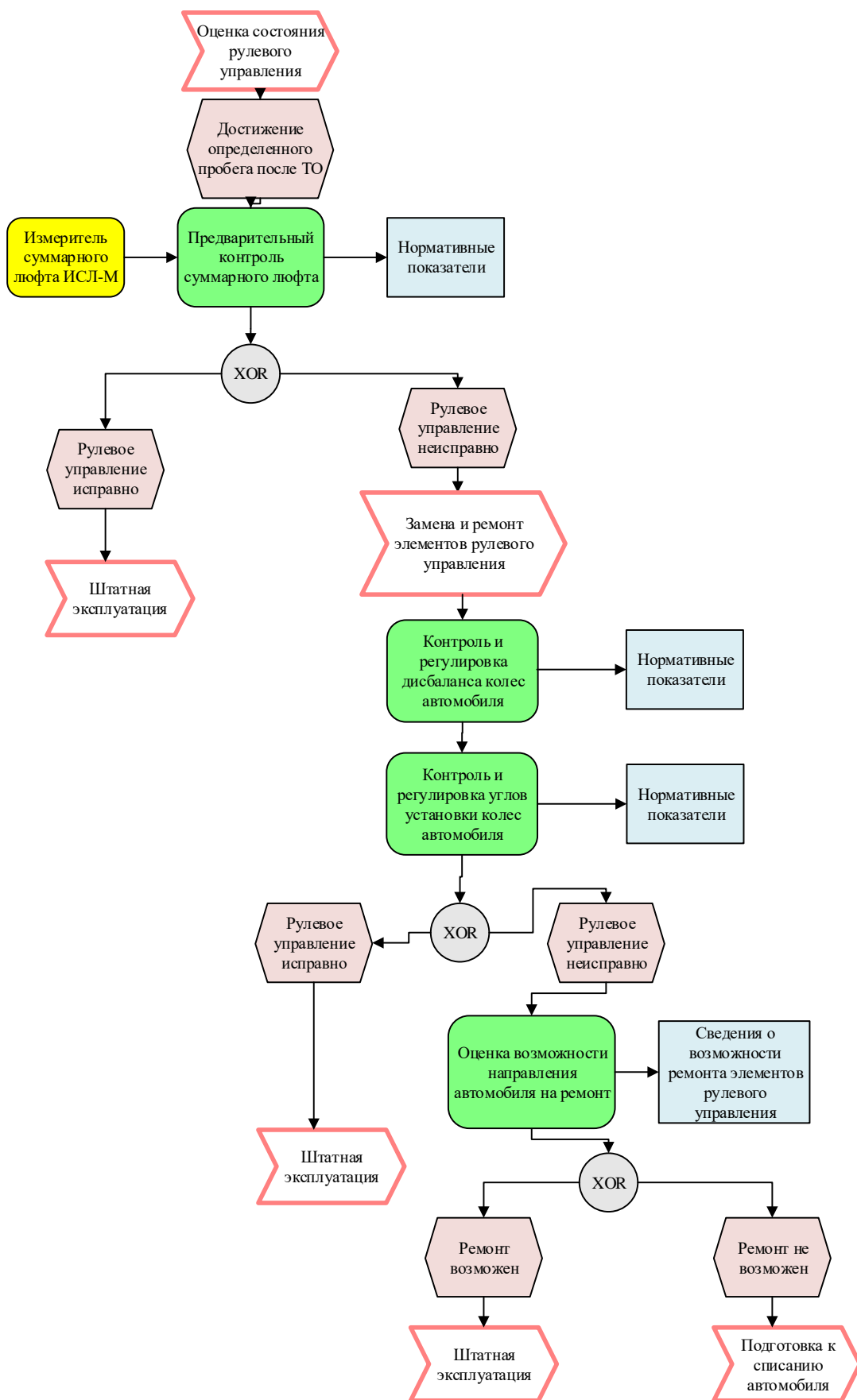


Рисунок 8 – Алгоритм диагностики рулевого управления

**В четвертой главе «Результаты внедрения и оценки технико-экономического эффекта предложенных технических решений»**

Для диагностирования 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.

Рассчитана периодичность измерений суммарного люфта. Анализ удельных затрат на ТО и Р позволил получить уравнение регрессии и построить их графики (рисунок 9).

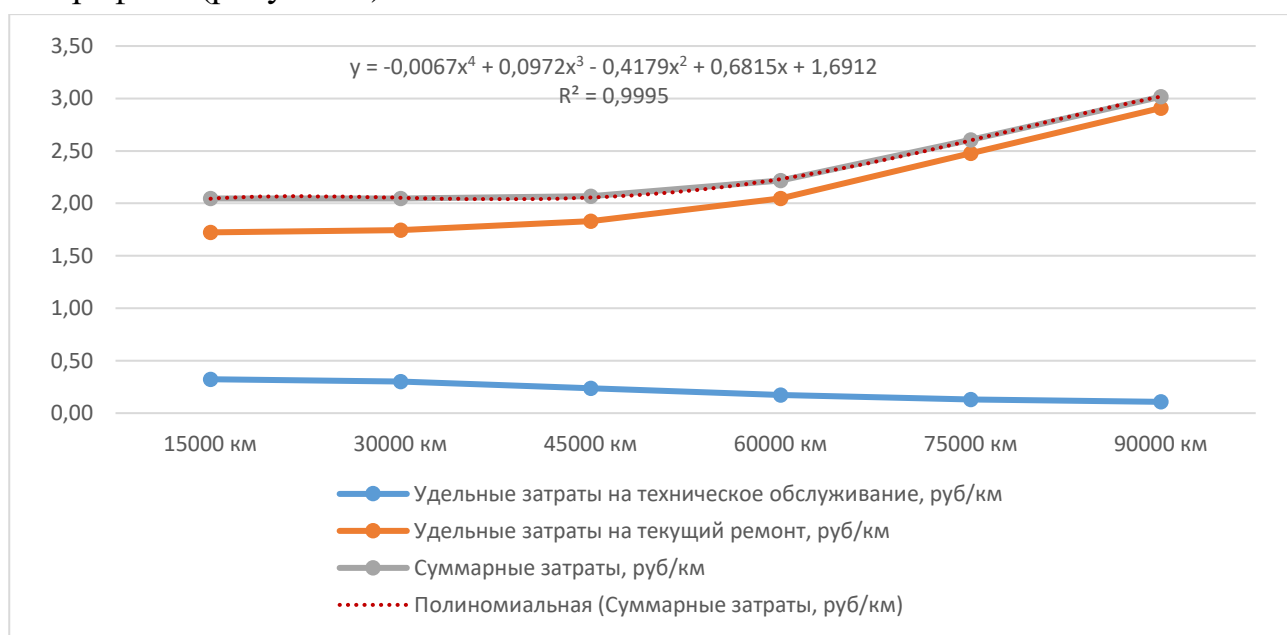


Рисунок 9 – Влияние периодичности технического обслуживания на величину удельных затрат на техническое обслуживание и ремонт

Расчет годового экономического эффекта показал, что экономия достигается за счет снижения затрат на проведение технического обслуживания и ремонта, снижения времени 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. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат в расчете на 10 автомобилей составляет 6142 рубля при среднем годовом пробеге 13700 км.

## **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.

### **Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:**

#### **Статьи в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК России**

1. 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.

2. 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.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная  
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1624 подписано в печать 23.10.2024 г.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени  
П.А. Костычева»  
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1  
Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических  
пособий ФГБОУ ВО РГАТУ  
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*