На правах рукописи

АФИНОГЕНОВ ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РУЛЕВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Специальность: 05.20.03 - Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2019

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, доцент
Кокорев Геннадий Дмитриевич

Официальные оппоненты: **Загородских Борис Павлович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова»,
научный сотрудник отдела учебно-научного обеспечения

Асоян Артур Рафикович
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

Защита состоится «25» декабря 2019 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 220.057.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу: 390044, 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, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «___»_____19 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент Юхин И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Достижение экономических успехов в агропромышленном комплексе России в значительной степени определяется надежностью, производительностью, грамотной организацией транспортной логистики.

Эффективность транспортной логистики агропромышленного комплекса России определяется надежностью сельскохозяйственной техники, которая зависит от конструкционных и эксплуатационных свойств.

Анализ состава сельскохозяйственной техники агропромышленного комплекса России показывает, что половину общей его численности составляет автомобильная техника.

Управление автомобилем является главной производственной функцией водителя и составляет целенаправленную организацию процесса движения. Траектория движения любого автомобиля большей частью криволинейная, с беспрерывно изменяющейся кривизной. Анализ использования автомобильной техники в реальных условиях позволяет заключить, что маневрирование совершается по криволинейной траектории в 50...75 % от общего пробега, поэтому к рулевому управлению должны предъявляться повышенные требования. Одним из направлений повышения активной безопасности автомобиля является установка усилителя в рулевом управлении, позволяющего уменьшить физическую нагрузку на водителя при поворотах рулевого колеса и снизить удары и толчки, передающиеся от управляемых колес.

Рулевые усилители должны отличаться высокой надежностью их узлов и деталей, технологичностью в производстве и эксплуатации, рациональной унификацией, малыми массами, габаритами, уровнем шума.

Одной из проблем конструкции гидравлических рулевых усилителей (ГРУ) является повышение его температурного режима и нагруженности в результате длительного действия при крайних положениях рулевого колеса.

Таким образом, актуальной научно-технической задачей является совершенствование эксплуатации ГРУ автомобилей в сельском хозяйстве, что позволит выполнить требования, предъявляемые к конструкции рулевого усилителя и рулевого управления в целом.

Степень разработанности темы. Системам рулевого управления посвятили свои работы отечественные и зарубежные ученые, такие как Антонов А.С., Асоян А.Р., Борычев С.Н., Бышов Н.В., Гапич Д.С.,

Гинцбург Л.Л., Гонинберг Е.М., Данилов И.К., Загородских Б.П., Кокорев Г.Д., Лысов М.И., Осепчугов В.В., Раймпель Й., Симдянкин А.А., Успенский И.А., Фомин С.Д., Чайковский И.П., Юхин И.А. и др. Однако в их работах не в полном объеме рассмотрен процесс теплообразования в гидравлическом рулевом усилителе, не выявлены закономерности тепловыделения в ГРУ.

Поэтому исследовательские учреждения России и конструкторы на автомобильных заводах должны уже на стадии проектирования прогнозировать соответствие рулевых управлений предъявляемым требованиям и принимать меры, направленные на совершенствование конструкции рулевого управления, что для выполнения логистических операций агропромышленного комплекса является актуальной научно-технической задачей имеющей, несомненно, важное народно-хозяйственное значение.

Цель исследования – оценка функционирования ГРУ автомобиля в сельском хозяйстве методом определения тепловых потерь.

Задачи исследования:

1) Проанализировать существующие конструкции и особенности функционирования ГРУ в условиях сельскохозяйственного производства;

2) Разработать математическую модель температурного напора рабочей жидкости ГРУ и методику его теплогидравлического расчета на всех режимах работы;

3) Провести экспериментальные исследования для подтверждения расчетных методов определения теплового потока ГРУ;

4) Оценить технико-экономический эффект результатов исследования.

Объект исследования – функционирование ГРУ автомобиля в сельском хозяйстве.

Предмет исследований – процесс теплообразования в ГРУ автомобиля в сельском хозяйстве.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования проводились на основе классической механики, гидравлики, термодинамики и математической статистики.

Аналитические расчеты, проводимые на основе современных математических методов, проверялись с использованием экспериментальных данных.

При проведении экспериментальных исследований использовались стандартные и предлагаемые методики, сертифицированные приборы и установки. Обработка результатов исследований проведена методами

математической статистики (с использованием программ MathCAD 14.0, Statistica 8.0).

Научная новизна заключается в разработке:

– системного анализа температурных режимов работы ГРУ на основании теории силового потока;

– получении регрессионных моделей изменения температуры рабочей жидкости ГРУ в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, времени работы ГРУ, коэффициента сопротивления качению, коэффициента сцепления дорожного покрытия с колесом автомобиля;

– методики проведения экспериментальных исследований и получении математической зависимости количества выделяемого тепла в ГРУ от частоты вращения коленчатого вала двигателя и момента сопротивления повороту управляемых колес;

– методики исследования функционирования ГРУ при эксплуатации в условиях сельскохозяйственного производства.

Теоретическая значимость работы. Методика исследования функционирования ГРУ в отличие от известных подходов учитывает аналитическую зависимость между температурным режимом и коэффициентом полезного действия, минуя расчет непосредственно потерь мощности, что дает более широкие возможности при оценке функционирования ГРУ и может быть использована при совершенствовании конструкции рулевого управления.

Практическая значимость работы заключается в:

– разработке блок-схемы исследования функционирования ГРУ при эксплуатации автомобиля;

– разработке рациональной схемы рулевого управления, оборудованного ГРУ, включающей устройство для контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса и для повышения эффективности охлаждения жидкости, позволяющее предотвратить перегрев пластинчатого насоса и предохранить детали гидравлического рулевого усилителя от чрезмерных нагрузок.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель и методика теплогидравлического расчета гидравлического рулевого усилителя на всех режимах его работы.

2. Аналитическая зависимость определение тепловых характеристик ГРУ.

3. Методика проведения экспериментальных исследований.

4. Рекомендации по совершенствованию конструкции рулевого управления.

Достоверность результатов исследований. Для проведения экспериментальных исследований использовались приборы с пределом допустимой основной погрешности измерения входного параметра ±0,5%. Полученные результаты подтверждаются результатами теоретических и экспериментальных исследований (расхождение составило 5%), при точности 95%. Выводы, полученные в ходе диссертационного исследования, согласуются с результатами, опубликованными ранее в независимых источниках по тематике исследования.

Реализация результатов исследований.

Практическая реализация схемы рулевого управления оборудованного гидроусилителем, включающее устройство для контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса и устройство для повышения эффективности охлаждения жидкости ГРУ осуществлена в сельскохозяйственном производственном кооперативе «Новоселки» Рыбновского района Рязанской области в 2019 году.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в разработке и формулировании цели работы, определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, организации и проведении исследований, разработке методики расчета функционирования ГРУ, в апробации результатов исследования, обработке и интерпретации полученных экспериментальных данных, подготовке публикаций по выполненной работе.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на национальных научно-практических конференциях Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (2016 – 2018 г.г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в печати 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. Получено 2 патента РФ на изобретение.

Общий объем публикаций составляет 2,43 печатного листа, из которых 1,72 печатных листов принадлежит лично соискателю.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 145 страниц машинописного текста, 37 рисунков, 23 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» анализ исследований в рассматриваемой предметной области позволяет сделать следующие выводы:

- существенное влияние на работу усилителя оказывает расположение и место отбора мощности для насоса. Для уменьшения потерь давления жидкости и ее нагрева при постоянной циркуляции насосы необходимо приблизить к распределителю и силовому цилиндру. Во всех случаях силовой цилиндр должен быть связан с управляемыми колесами более жестко, чем рулевой механизм. Для грузовых автомобилей, предпочтительно применение схемы компоновки, когда распределительное устройство размещается в одном блоке с рулевым механизмом, силовой цилиндр – отдельно;

- процесс теплообразования в ГРУ недостаточно изучен, не выявлены закономерности тепловыделения в ГРУ. В рассмотренных работах не прослеживаются единые принципы выбора экономичной и эффективной схемы ГРУ;

- существующая методика оценки ГРУ характеризует только силовое действие усилителя, но не обеспечивает оценки его функционирования на стадии проектирования, в связи с чем научно и экономически обоснованным направлением является разработка методики, позволяющей оценить и спроектировать рулевые управления, наиболее полно отвечающие предъявляемым к ним требованиям.

На основании проведенного анализа состояния проблемы и в соответствии с поставленной в работе целью сформулированы **задачи исследования:**

1) Проанализировать существующие конструкции и особенности функционирования ГРУ в условиях сельскохозяйственного производства;

2) Разработать математическую модель температурного напора рабочей жидкости ГРУ и методику его теплогидравлического расчета на всех режимах работы;

3) Провести экспериментальные исследования для подтверждения расчетных методов определения теплового потока в гидравлическом рулевом усилителе;

4) Оценить технико-экономический эффект результатов исследования.

Во второй главе «Теоретическое исследование температурных режимов гидравлического рулевого усилителя» проведено теоретическое исследование температурных режимов ГРУ. Получена математическая модель температурного напора рабочей жидкости ГРУ, позволившая определить аналитическую зависимость между температурным режимом и коэффициентом полезного действия, минуя непосредственно расчет потерь мощности. Разработана физическая модель устройства для повышения эффективности охлаждения жидкости ГРУ.

Согласно теории силового потока энергетические возможности гидропривода полностью характеризуются его мощностью. Баланс мощности можно представить в виде:

$$N_{вх}=N_{вых}+\Delta N, \qquad (1)$$

где $N_{вх}$– входная мощность, Вт; $N_{вых}$– выходная мощность, Вт;

ΔN– потери мощности в гидроприводе, Вт.

Энергетический баланс ГРУ имеет вид:

$$N_{вх} = N_{вых} + \Delta p_{н}q + \Delta N_{н} + \Delta p_{ур}q + \Delta p_{рад}q + \Delta p_{ф}q + \Delta p_{сц}q + \Delta N_{сц}$$

Все потери мощности гидропривода превращаются в тепло.

Таким образом, полученная расчетная схема отражает в общем виде процессы преобразования механического, гидравлического и теплового потоков ГРУ.

Проведено математическое моделирование распределения теплогидравлического потока рабочей жидкости в ГРУ.

$$\Delta \mathbf{T}_{РЖ}^{ГРУ} = \frac{K_1F_1(T_{ур}-T_{воз}) + K_2F_2(T_{р}-T_{воз}) + K_3F_3(T_{мб}-T_{воз})}{C_{рж}q}, \qquad (2)$$

где $C_{рж}$– удельная теплоемкость рабочей жидкости, Дж/кг*°С;

q – расход рабочей жидкости, кг/с.

Установлена аналитическая зависимость между температурным напором рабочей жидкости и коэффициентом полезного действия ГРУ

$$\eta_{ГРУ} = 1 - \frac{\Delta T_{РЖ}^{ГРУ} C_{рж} q}{M_{н}\omega_{н}}, \qquad (3)$$

Зная температурный напор рабочей жидкости, можно определить коэффициент полезного действия ГРУ на любых режимах его работы.

Количество выделяемого тепла в насосе ГРУ

$$Q_{н} = p_{н}q\left(\frac{1}{\eta_{н}} - 1\right), \qquad (4)$$

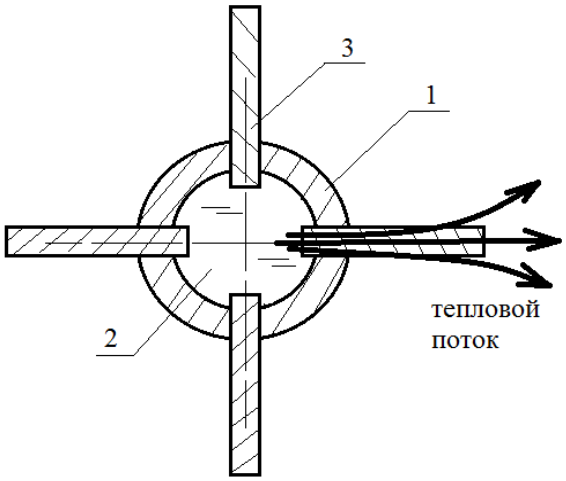
где $Q_{н}$– количество тепла, выделяемое в гидравлической системе на выходе из насоса за 1 с, Вт:

$p_н$– давление в гидравлической системе на выходе из насоса, Па;

q – производительность насоса при давлении p, $м^3/с$.

Разработанная гидравлическая система ГРУ позволит выполнить эти условия путем установки устройства для повышения эффективности охлаждения жидкости ГРУ.

Принципиальная схема ГРУ с устройством для повышения эффективности охлаждения жидкости представлена на рисунке 1, где показано поперечное сечение трубопровода.



1 – трубопровод; 2 – рабочая жидкость (масло); 3 – вставки.

Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства для повышения эффективности охлаждения жидкости ГУР (Патент на изобретение RUS 2665109 13.03.2017.)

Устройство состоит из трубопровода 1, внутри которого находится рабочая жидкость 2, а в его теле, по всей длине трубопровода 1, выполнены вставки 3, имеющие коэффициент теплопроводности выше, чем основной материал трубопровода 1. Вставки 2, с одной стороны, контактируют с рабочей жидкостью 2, располагающейся внутри трубопровода 1, а с другой, – с воздухом окружающего пространства.

Длина наружных частей вставок 3 – больше, чем половина наружного диаметра трубопровода 1 – достаточна для организации интенсивного теплообмена с воздухом окружающего пространства.

Вставки 3 жестко закреплены в теле трубопровода 1 любым из известных способов – пайкой, сваркой, вклеиванием, и т.п.

Работа устройства осуществляется следующим образом: при работе ГРУ рабочая жидкость 2 протекает внутри трубопровода 1 и омывает вставки 3. За счет более высокого коэффициента теплопроводности вставок 3, чем у основного материала трубопровода 1, через вставки 3 начинается теплообмен между жидкостью 2 и воздухом окружающего пространства. При этом теплообмен происходит по всей длине трубопровода 1, гидравлически соединяющего все элементы ГРУ.

При повышении температуры жидкости 2, например, вследствие интенсификации работы ГРУ, вставки 3 начинают играть роль локальных

радиаторов охлаждения (тепловолноводов).

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет предотвратить перегрев пластинчатого насоса, повысить эффективность охлаждения жидкости и предохранить детали ГРУ от чрезмерных нагрузок, повысить коэффициент полезного действия ГРУ.

На основании динамической характеристики автомобиля при движении по различным покрытиям определяем режимы работы автомобиля при повороте его в различных условиях движения. Исходя из этого в дальнейшем все расчеты будут вестись только для условий движения по песку, так как на оставшихся режимах предполагаем тепловыделение будет меньше.

Определяем потери давления в ГРУ.

Суммарные потери давления в гидроприводе складываются из потерь давления в отдельных составляющих элементах:

$$\sum \Delta p = \sum \Delta p_1 + \sum \Delta p_м + \sum \Delta p_{г.а}, \quad (5)$$

где $\sum \Delta p_1$– суммарные потери давления на трение по длине всех участков трубопровода, Па;

$\sum \Delta p_м$– суммарные потери давления в местных сопротивлениях трубопровода, Па;

$\sum \Delta p_{г.а}$– суммарные потери давления в гидроаппаратах, Па.

Получаем зависимость производительности насоса от давления (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость производительности насоса от давления

Давление в гидравлической системе, 10^5 Па	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
q $м^3/с*10^{-4}$	3,1	3,05	3,0	2,93	2,91	2,86	2,83	2,78	2,73	2,68	2,63

Определяем тепловые характеристики ГРУ.

Количество выделяемого тепла в ГРУ определяется:

$$Q_1 = p_н q \left(\frac{1}{\eta_{общ}} - 1 \right), \quad (6)$$

где Q_1– количество тепла, выделяемое в гидравлической системе на выходе из насоса за 1 с, Вт: $p_н$– давление в гидравлической системе на выходе из насоса, Па; q – производительность насоса при давлении $p_н$, $м^3/с$.

Графики зависимости количества выделяемого тепла от частоты вращения коленчатого вала двигателя и момента сопротивления повороту управляемых колес при движении автомобиля по песку приведены на рисунках 2 и 3.

Определяем температуру рабочей жидкости в ГРУ в зависимости от времени режимов его работы.

Уравнение теплового баланса гидропривода будет иметь вид:

$$Qdt = (C_м m_ж + C_{м1} m_{гп})dt + KF_{гп}dt\left(\frac{dt}{2} + T_1 - T_0\right), \quad (7)$$

где Q– количество тепла, выделяемое в гидравлическую систему, Вт;

dt– приращение температуры масла за время dt, °С ; T_1– температура масла к началу рассматриваемого бесконечно малого промежутка времени, °С; $T_{нач}$– начальная температура рабочей жидкости, °С ; К– коэффициент теплоотдачи окружающему воздуху, Вт/м^2 ^{0}С; $F_{гп}$– площадь поверхности гидравлического привода, м^2; $C_м$– теплоемкость масла, Дж/кг град; $C_{м1}$– теплоемкость метала, Дж/кг град; $m_{гп}$– масса гидравлического привода, кг; $m_ж$– масса рабочей жидкости, кг, t– время работы гидропривода, с.

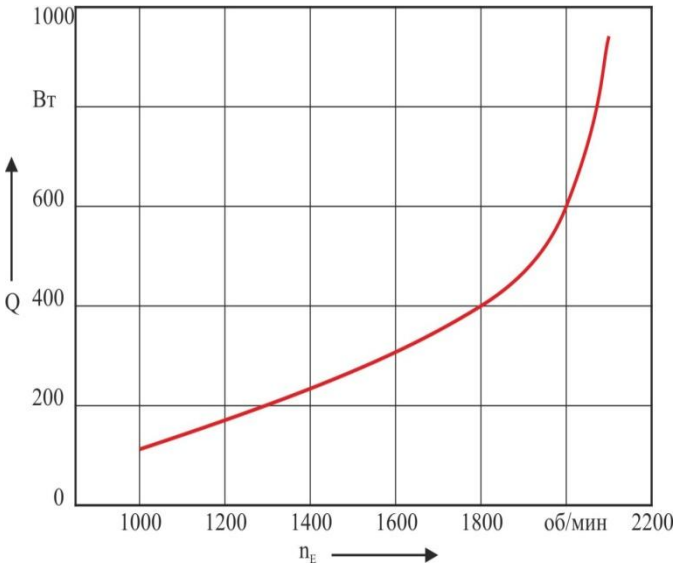


Рисунок 2 – Зависимость количества выделяемого тепла в ГРУ от частоты вращения коленчатого вала двигателя при движении автомобиля по песку

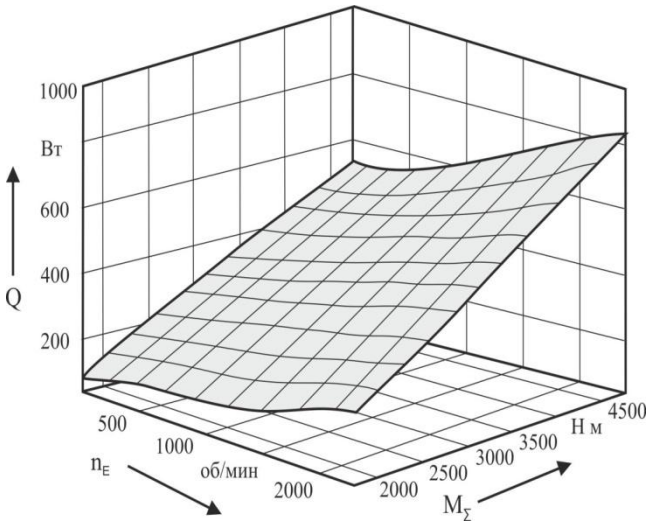


Рисунок 3 – Зависимость количества выделяемого тепла в ГРУ от частоты вращения коленчатого вала двигателя и момента сопротивления повороту управляемых колес при движении автомобиля по песку

Идеальными условиями для функционирования ГРУ приняты:

– минимальное давление рабочей жидкости, p= 1 Мпа;

– минимальная производительность насоса, q = 1 * 10^{-4} м^3/с;

– максимальный коэффициент полезного действия, $\eta_{общ}$ = 1.

Наибольший показатель эффективности ГРУ достигается при повороте

автомобиля на снегу 0.1, а наименьший показатель эффективности достигается при повороте автомобиля на песке 0.004.

В третьей главе «Экспериментальные исследования» представлено решение задачи экспериментального исследования включало: разработку программы и плана эксперимента; выбор испытательных трасс, подготовку объекта экспериментального исследования и разработку комплекта измерительно-регистрирующей аппаратуры; разработку и опробование методики проведения эксперимента; непосредственно выполнение эксперимента; обработку результатов эксперимента.

В соответствии с целями и задачами экспериментального исследования программой экспериментальных исследований предусматривалось решение следующих частных задач: определение коэффициентов сцепления и качения при движении автомобиля Урал 4320-0010-31 по асфальту, песку, грунтовому покрытию; оценку адекватности математической модели закономерности тепловыделения в ГРУ в зависимости от режимов его работы.

Произведен выбор измерительной и регистрирующей аппаратуры для проведения экспериментальных исследований.

Определены коэффициенты сопротивления качения (рис. 4) и коэффициенты сцепления (рис. 5).

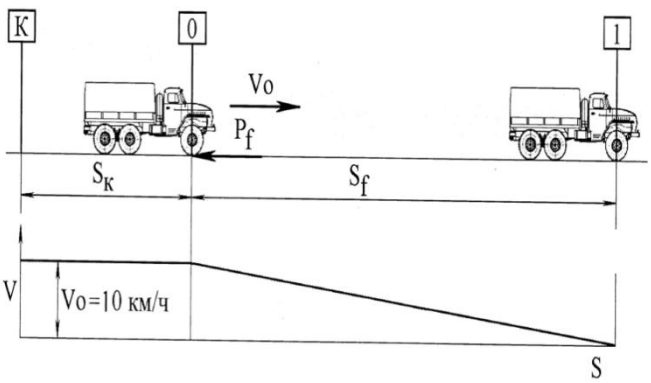


Рисунок 4 – Схема экспериментального нахождения коэффициентов сопротивления качению

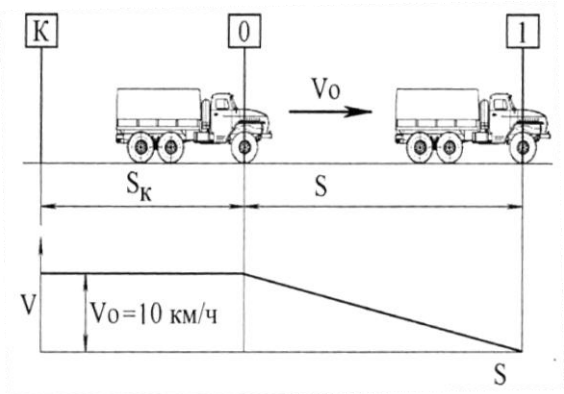


Рисунок 5 – Схема экспериментального нахождения коэффициентов сцепления

Осуществлено планирование эксперимента. Произведено варьирование и оптимизация наиболее значимых факторов эксперимента в зависимости от коэффициента сопротивления качению. Модель объекта имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 \qquad (8)$$

где b_i– коэффициенты уравнения регрессии.

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 2., в табл. 3 представлена рабочая матрица и результаты эксперимента по определению величины температуры рабочей жидкости ГРУ.

Таблица 2 – Уровни и интервалы варьирования факторов

	Частота вращения коленчатого вала ДВС, об/мин	Время работы, с	Коэффициент сопротивления качению
Обозначение	x_1	x_2	x_3
Основной уровень	1100	40	0,049
Интервал варьирования	400	30	0,031
Верхний уровень	1500	70	0,08
Нижний уровень	700	10	0,018

Таблица 3 – Рабочая матрица и результаты эксперимента по определению величины температуры рабочей жидкости ГРУ

№	Факторы			Отклики (параметры оптимизации)			Дисперсия опыта
N	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	$y_{ср}$	S_j^2
1	700	10	0,018	65,08	66,10	65,59	0,26
2	700	70	0,08	73,05	74,06	72,55	2,28
3	700	70	0,018	68,57	67,5	68,35	0,72
4	700	10	0,08	66,27	66,8	66,53	0,07
5	1500	10	0,018	68,23	69	68,62	0,15
6	1500	70	0,08	97,76	100	98,88	1,25
7	1500	70	0,018	82,87	84,5	83,69	0,65
8	1500	10	0,08	69,15	72,1	70,63	2,16

Уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$y = 74{,}355 + 6{,}1x_1 + 6{,}51x_2 + 2{,}7925x_3 + 4{,}3175x_1x_2 + 1{,}5075x_1x_3 + \\ +2{,}055x_2x_3 + 1{,}24x_1x_2x_3 \quad (9)$$

Аналогичный образом, в соответствии с моделью объекта (8) произведено варьирование и оптимизация наиболее значимых факторов эксперимента в зависимости от коэффициента сцепления.

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 4.

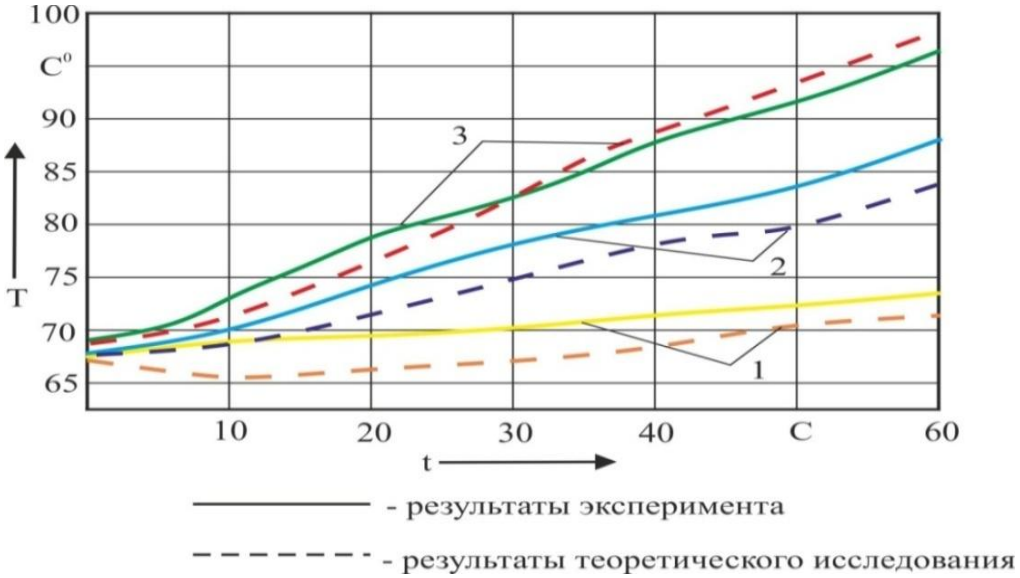
Уравнение регрессии примет следующий вид:

$$y = 74{,}355 + 6{,}1x_1 + 6{,}51x_2 - 2{,}74x_3 + 4{,}3175x_1x_2 - 1{,}5075x_1x_3 - \\ - 2{,}055x_2x_3 - 1{,}24x_1x_2x_3 \quad (10)$$

Таблица 4- Уровни и интервалы варьирования факторов

	Частота вращения коленчатого вала ДВС, об/мин	Время работы, с	Коэффициент сцепления
Обозначение	x_1	x_2	x_3
Основной уровень	1100	40	0,53
Интервал варьирования	400	30	0,38
Верхний уровень	1500	70	0,91
Нижний уровень	700	10	0,15

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показан на рисунке 6, где представлены расчетные и экспериментальные зависимости изменения температуры рабочей жидкости при повороте автомобиля на асфальтобетоне, грунте и песке.



Частота вращения коленчатого вала: 1-700 об/мин, 2- 1100 об/мин, 3- 1500 об/мин

Рисунок 6 – Зависимость изменения температуры рабочей жидкости при повороте автомобиля на песке

Сравнение данных эксперимента с результатами расчета позволяет отметить, что характеры протекания процессов, описанных теоретическими зависимостями и экспериментально полученными функциями, не имеют качественных отличий, кроме того, сравнительная характеристика расчетных и экспериментальных данных свидетельствует о достаточно высокой сходимости результатов.

Проведена оценка адекватности математической модели. Процедура статистической оценки была выполнена для всех регистрируемых оценочных параметров.

Относительная погрешность моделирования в данном случае не превышает 5 %. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что математическая модель нагрева рабочей жидкости в гидравлическом рулевом усилителе с доверительной вероятностью 0,95 описывает исследуемые процессы в указанных пределах варьирования факторов.

В четвертой главе «Результаты исследования и их технико-экономическая оценка» представлена методика расчета функционирования гидравлических рулевых усилителей при эксплуатации автомобиля в условиях сельскохозяйственного производства, блок-схема алгоритма которой представлена на рис. 7.

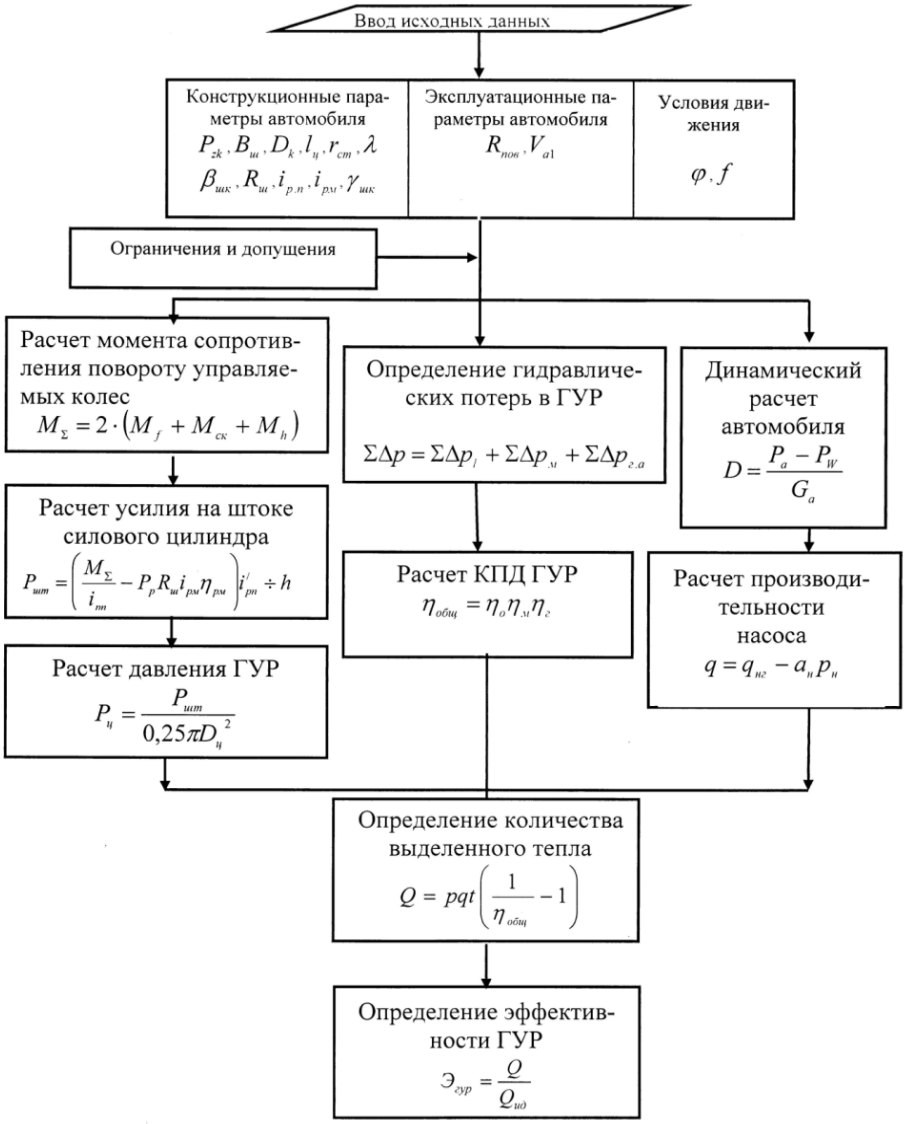


Рисунок 7 - Блок-схема алгоритма расчета функционирования гидравлических рулевых усилителей при эксплуатации автомобиля

Предложено устройства для контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса, оборудованного ГРУ (патент на изобретение RUS 2665109 13.03.2017 г.). Устройство относится к области транспортного

машиностроения, а именно к системам рулевого управления транспортных средств, и может быть использовано при конструировании и изготовлении гидравлических рулевых усилителей транспортных средств (рис. 8).

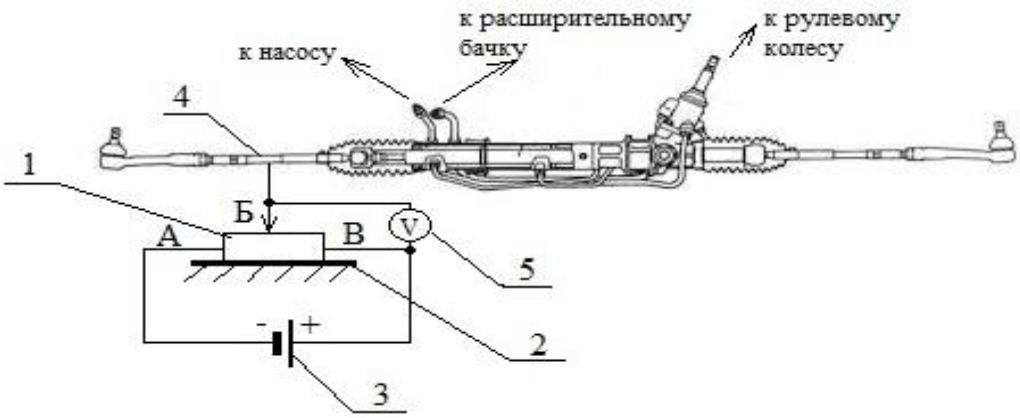


Рисунок 8 – Устройство для контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса, оборудованного гидроусилителем

Устройство состоит из реостата 1, жестко закрепленного на корпусе 2 транспортного средства. При этом вывод «А» реостата 1 электрически соединен с отрицательным полюсом аккумулятора 3, а бегунок «Б» – неподвижно закреплен на рулевой тяге 4 и электрически соединен с одним из входов вольтметра 5. Второй вход вольтметра 5 электрически соединен с положительным полюсом аккумулятора и с выводом «В» реостата 1. Такое соединение образует замкнутую регулируемую электрическую цепь.

Использование разработанной методики позволяет совершенствовать элементы эксплуатации ГРУ автомобилей в сельском хозяйстве. Технико-экономический эффект составляет около 4% от стоимости автомобиля.

Заключение

1. Проведен анализ конструкций схем, режимов работы и особенностей функционирования ГРУ автомобилей в условиях агропромышленного комплекса РФ. На основе анализа сделан вывод о том, что наиболее массовым типом усилителей рулевого управления автомобилей в АПК являются гидравлические рулевые усилители, причем из-за тяжелых условий эксплуатации автомобилей происходит перегрев рабочей жидкости ГРУ.

2. На основе проведенных теоретических исследований температурных режимов ГРУ установлены:

- распределение теплогидравлического потока рабочей жидкости в ГРУ, позволяющее определить коэффициент полезного действия ГРУ на любых режимах его работы;

- физическая модель устройства повышения эффективности охлаждения рабочей жидкости ГРУ (патент на изобретение RUS 2665109 13.03.2017), предложено устройство для контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса, позволяющее предотвратить перегрев ГРУ и предохранить детали от чрезмерных нагрузок и преждевременного износа (патент на изобретение RUS 2655966 25.11.2016);

- энергетический баланс ГРУ в условиях движения по песку, как наиболее тяжелому режиму поворота, который позволяет констатировать, что наиболее интенсивный нагрев жидкости в гидравлическом рулевом усилителе происходит при максимальном моменте сопротивления повороту управляемых колес и частоте вращения коленчатого вала двигателя 1800-2100 об/мин;

- наибольший показатель эффективности гидравлического рулевого усилителя достигается при повороте автомобиля на снегу – 0.1, а наименьший показатель эффективности достигается при повороте автомобиля на песке – 0.004.

3. Разработана методика и комплект измерительной и регистрирующей аппаратуры, позволившие провести натурный эксперимент, который можно признать воспроизводимым по всем регистрировавшимся параметрам на различных вариантах испытаний.

В результате проведенного эксперимента получена зависимость нагрева рабочей жидкости ГРУ в зависимости от варьируемых факторов: частоты вращения коленчатого вала ДВС, времени работы гидравлического рулевого усилителя, коэффициента сопротивления качению.

4. Технико-экономическая оценка результатов исследования позволяет сделать вывод о необходимости использования в условиях АПК варианта ГРУ с применением устройств для повышения эффективности охлаждения жидкости ГРУ и контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса. Экономический эффект предложенных разработок составит 4% от стоимости автомобиля.

Предложения производству

Разработанная автором методика позволяет при заданных конструкционных, эксплуатационных параметрах автомобиля и дорожных условиях, определять значения следующих величин: количество тепла,

выделяемое в ГРУ в зависимости от режимов движения и дорожных условий, показатель эффективности гидравлического рулевого усилителя.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие исследования следует направить на углубление теоретических и практических исследований влияния процесса теплообразования на коэффициент полезного действия ГРУ и разработке рекомендаций по совершенствованию эксплуатации рулевого управления.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. Кокорев, Г.Д. Оценка эффективности гидравлического рулевого усилителя методом тепловых потерь / Г.Д. Кокорев, И.А. Афиногенов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 2 (42). С. 117-121.

2. Силовые и кинематические зависимости рулевого усилителя / Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, И.А. Юхин, И.А. Афиногенов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 192-196.

Патенты

3. Патент на изобретение RUS 2655966 25.11.2016. Устройство для контроля нежелательных углов поворота рулевого колеса, оборудованного гидроусилителем [Текст] / А.А. Симдянкин, И.А. Успенский, Н.В. Бышов, Г.Д. Кокорев, И.А. Афиногенов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ.

4. Патент на изобретение RUS 2665109 13.03.2017. Гидравлический рулевой усилитель [Текст] / И.А. Афиногенов, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев, А.А. Симдянкин, И.А. Успенский, И.А. Юхин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ.

Статьи в материалах конференций и других изданиях

5. Совершенствование эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве путем повышения надежности рулевого управления / Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, А.А. Симдянкин, И.А. Афиногенов // В сборнике: Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России. Материалы национальной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский

государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». 2016. С. 83-87.

6. Рулевые усилители, их классификация и роль в рулевом управлении автомобилей / Г.Д. Кокорев, И.А. Афиногенов, В.П. Воронов// В сборнике: Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства. Материалы Международной научно-практической конференции (Международные Бочкаревские чтения), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». 2019. С. 107-113.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1438
подписано в печать 23.10.2019 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