

На правах рукописи



ХЛОПКОВ СЕРГЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
ОЧИСТКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань - 2020

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН)

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Данилов Игорь Кеворкович

Официальные оппоненты: **Пухов Евгений Васильевич**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», заведующий кафедрой эксплуатации транспортных и технологических машин.

Фадеев Иван Васильевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», заведующий кафедрой машиноведения

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»

Защита диссертации состоится «17» ноября 2020 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 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, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан « » _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



И.А. Юхин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ужесточение требований к автотранспорту, связанных со снижением расхода топлива без потери мощности двигателя и улучшением их экологических показателей, приводит к поиску мероприятий, позволяющих решить такого рода задачи. Одним из основных способов решений, оказывающих влияние на расход топлива и токсичность отработавших газов, является использование управляемых электроникой систем впрыска топлива. Крестьянско-фермерские хозяйства агропромышленного комплекса (АПК) располагают различными видами сельскохозяйственной техники, среди которых особое место занимают транспортные средства малой и средней грузоподъемности с бензиновыми двигателями с распределенным впрыском топлива.

Одним из основных элементов системы впрыска является электромагнитная форсунка (ЭМФ). Постоянное улучшение конструкции форсунок позволило на сегодняшний день получить устройство, удовлетворяющее высоким требованиям, предъявляемым не только к подаче топлива в камеры сгорания, но и к смесеобразованию.

При эксплуатации систем питания двигателя техническое состояние электромагнитных форсунок меняется, величины их рабочих показателей снижаются. Причинами такого ухудшения работы форсунок являются загрязнение и износ конструктивных элементов устройства, в частности, износ запирающего элемента. Несомненно, все это оказывает влияние на энергетические и экологические показатели двигателя. Следует отметить, что на рабочие параметры электромагнитных форсунок, помимо износа составных частей, влияние оказывает и качество топлива. Например, в сельских районах влияние на интенсивность смолообразования может оказывать топливо, долго хранящееся в емкостях. Как правило, потребление топлива циклично, что сказывается на увеличении времени хранения топлива в емкостях на АЗС. Это приводит к окислению топлива. Увеличение содержания фактических смол в топливе приводит к увеличению интенсивности смолообразования в топливной системе двигателя автомобиля. То есть, при эксплуатации транспортных средств необходимо использовать качественный бензин и устанавливать нормы периодичности проведения работ по очистке ЭМФ ультразвуком, так как нормативно-технической документацией не предусмотрены работы по техническому обслуживанию, очистке ЭМФ в течение всего срока службы транспортного средства.

Для восстановления рабочих параметров форсунок применяют как химический, так и ультразвуковой способ очистки от загрязнений. Рабочие параметры после этих процедур иногда не достигают исходных значений параметров. Однако, такая очистка ЭМФ позволяет улучшить энергетические и экологические показатели двигателя.

При эксплуатации транспортных средств возникают затруднения в контроле работы двигателя по его показателям, зависящим от электронных систем управления двигателем (ЭСУД), интегрированных с системой подачи

топлива. Наиболее нагруженным элементом этой системы является форсунка, на неё приходится до 13% неисправностей.

Рекомендуемая производителем после 100-120 тысяч километров (тыс. км.) пробега автомобиля замена форсунок не предусматривает их очистку до этих значений, хотя необходимость периодического обслуживания ЭМФ, очередности применения различных способов очистки при более низкой наработке очевидна.

Обширный парк транспортных средств, оснащенных распределенными системами впрыска топлива, требует восстановления рабочих параметров форсунок для поддержания энергетических и экологических показателей двигателя с учетом его естественного износа, что является в настоящее время весьма актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы технического обслуживания системы топливоподачи двигателей с электронной системой управления отражены в работах ученых Бакайкина Д.Д., Березюкова Д.С., Бoryчева С.Н., Бышова Н.В., Вереютина А.Ю., Данилова И.К., Залознова И.П., Иншакова А.П., Кокорева Г.Д., Курбакова И.И., Лисина В.А., Мачалкина Ю.Н., Овчинникова Г.В., Пухова Е.В., Симдянкина А.А., Успенского И.А., Фадеева И.В., Юхина И.А. и других исследователей.

Изучению вопросов восстановления рабочих параметров форсунок посвящены научные работы Киселева Д.В., Пантюхова В.Д., Цэдашиева Ц.В., Широбокова В.И. и многих других ученых.

Обобщение и уточнение результатов работ вышеуказанных авторов показывает, что они содержат исследования, направленные в основном на диагностику, разработку методик технического обслуживания форсунок, а также на восстановление рабочих параметров форсунок промывкой.

Однако в трудах этих ученых не исследовались вопросы улучшения энергетических и экологических показателей двигателей из-за изменения технического состояния ЭМФ периодической ультразвуковой очисткой в течение всего срока эксплуатации.

Работа выполнена в соответствии с Программой развития Инженерной академии РУДН на 2018-2020 гг. и планом НИР № 202220-1-274 ФГАОУ ВО РУДН на 2020 г. по теме «Улучшение показателей двигателей внутреннего сгорания совершенствованием диагностирования и технического обслуживания механизмов и систем».

Цель работы - улучшение энергетических и экологических показателей двигателей автомобилей АПК с распределенным впрыском топлива ультразвуковой очисткой ЭМФ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Аналитически обосновать зависимость изменения средних значений расхода топлива при загрязнении сопловых отверстий ЭМФ от пробега.

2. Оценить влияние ультразвуковой очистки ЭМФ на улучшение энергетических и экологических показателей двигателей в процессе эксплуатации.

3. Разработать состав и последовательность работ при ультразвуковой очистке ЭМФ.

4. Рассчитать экономический эффект предлагаемых мероприятий.

Объект исследования – ЭМФ современных двигателей автомобилей агропромышленного комплекса.

Предмет исследования - изменение среднего отклонения значений расхода топлива в зависимости от технического состояния ЭМФ на различных режимах работы двигателя.

Научная новизна:

1. Аналитически обоснована зависимость изменения средних значений расхода топлива при загрязнении сопловых отверстий ЭМФ от пробега.

2. Обосновано увеличение мощностных и улучшение экологических показателей двигателей внутреннего сгорания после ультразвуковой очистки ЭМФ в процессе эксплуатации.

3. Обоснован перечень и последовательность операций периодической ультразвуковой очистки ЭМФ для улучшения показателей двигателей в процессе эксплуатации.

Теоретическая значимость работы состоит в получении аналитической зависимости изменения средних значений расхода топлива, в обосновании влияния технического состояния при ультразвуковой очистке ЭМФ на экологические и энергетические показатели двигателя.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

1. Определены количественные показатели средних значений расхода топлива через форсунки до и после ультразвуковой очистки ЭМФ.

2. Разработаны состав и последовательность работ при ультразвуковой очистке ЭМФ.

3. Определена периодичность ультразвуковой очистки ЭМФ.

4. Улучшены энергетические и экологические показатели двигателей за счет периодической ультразвуковой очистки ЭМФ.

Методология и методы исследования. При выполнении работы использовались положения теории надежности, методы математического анализа и статистической обработки экспериментальных данных. Экспериментальные исследования выполнены с использованием современных методик, приборов и оборудования, прошедших метрологический контроль. Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием программ Excel, Statistika 10.

Положения, выносимые на защиту:

1. Аналитическая зависимость изменения средних значений расхода топлива при изменении проходного сечения распылителя ЭМФ из-за износа и загрязнений в процессе эксплуатации.

2. Влияние технического состояния электромагнитных форсунок на мощностные показатели и состав отработавших газов автомобильного бензинового двигателя.

3. Оценка технического состояния форсунок, периодичность и состав операций по проведению ультразвуковой очистки ЭМФ.

Достоверность результатов, полученных в ходе исследований, подтверждена применением современных методов исследования, поверенных приборов и оборудования, стандартных методик физико-механических исследований и статистических методов обработки результатов, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований (расхождение менее 5%) и апробацией в производственных условиях.

Реализация результатов исследований. Оценка технического состояния форсунок ультразвуковой очисткой прошла производственную проверку в течение 10 месяцев в ООО «Рассвет» Клепиковского района Рязанской области и в ООО «РУС-АВТОДОМ» в г. Москва.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в участии в разработке и формулировании цели и задач работы, определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, а также в их организации и проведении.

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования изложены, обсуждены и одобрены на:

- Национальной научно-практической конференции «Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГТУ имени П.А. Костычева, 14 декабря, 2017 год).

- 76-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. Секция «Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта» (г. Москва, ФГБОУ ВО МАДИ, 30-31 января, 2018 год);

- 106-ой Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров «Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации» (г. Иркутск, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» и Межрегиональной общественной организации «Ассоциация автомобильных инженеров» (ААИ), 23-26 апреля, 2019 год);

Публикации. Результаты работы отражены в 8 печатных работах, из них: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 статьи в изданиях Scopus. Общий объем публикаций составляет 2,79 печ. л., из которых 2,12 печ. л. принадлежит лично автору.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, изложенных на 119 страницах машинописного текста с приложениями, содержит 44 рисунка, 22 таблицы, список литературы из 127 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования»

рассмотрены вопросы распределения отказов элементов топливной аппаратуры (ТА) бензиновых двигателей с распределенным впрыском топлива, основным элементом которой является электромагнитная форсунка. Проведен обзор литературных данных по анализу причин нарушения исправного состояния ЭМФ и существующих методов оценки их технического состояния. Нарушение работоспособности ЭМФ в эксплуатации является важным фактором, влияющим на эксплуатационные свойства автомобиля. В условиях реальной эксплуатации наиболее частыми неисправностями ЭМФ являются загрязнение фильтра, клапана и распылителя, приводящие к уменьшению количества и ухудшению качества распыливания топлива.

Для предотвращения и устранения загрязнений ЭМФ существуют способы очистки, которые подразделяют в зависимости от задач последующей эксплуатации и выявленных нарушений в работе двигателя. В качестве профилактических мер используют различные химические добавки в топливо, позволяющие снизить склонность форсунок к загрязнениям. Результаты проведенного исследования позволяют заключить, что существующие моющие присадки к бензину не обеспечивают полной очистки форсунок. Они могут применяться как профилактическое средство против загрязнения форсунок в процессе эксплуатации. А ультразвуковая очистка позволяет полностью удалить органические отложения.

Проведенный анализ предшествующих исследований проблемы загрязнения электромагнитных форсунок и особенностей эксплуатации автомобилей с впрыскиванием бензина позволил сформулировать цель и задачи данной работы.

Во второй главе «Теоретическое обоснование расхода топлива при изменении проходного сечения распылителя ЭМФ в процессе эксплуатации» рассмотрены параметры режима работы ЭМФ и их влияние на расход топлива. В современных поршневых двигателях с распределенным впрыском топлива электромагнитные форсунки являются основным типом систем подачи и распыливания топлива. К струйным форсункам топливо также подается под некоторым давлением. Внутреннее устройство струйных форсунок представляет собой последовательную систему каналов, коллекторов, пространства вокруг клапанов, пружин и т.п. На последнем участке течения через форсунку, топливо с большой скоростью протекает через сопло малого диаметра и после вылета из форсунки струя на некотором расстоянии от среза сопла распадается на множество мелких капель, создавая узкий факел распыленного топлива (факел распыла) с малым углом расходимости.

Основным параметром режима работы электромагнитных форсунок является перепад давления топлива $\Delta p_{T,0}^*$ на форсунке:

$$\Delta p_{T,0}^* = p_{T,0}^* - p_K^*, \quad (1)$$

где: $p_{T,0}^*$, p_K^* - абсолютные полные значения давления топлива перед форсункой и в камере сгорания, Н/м².

В соответствии с общепринятой терминологией, обозначим применяемые в работе качественные и количественные показатели. Качество работы

форсунок оценивается по группе расходных, геометрических и дисперсных характеристик форсунки и факела распыла.

Расходные характеристики форсунки это зависимости общего расхода топлива - массового G_T , кг/с или объемного Q_T , м³/с от величины перепада давления топлива $\Delta p_{T.0}^*$ в форсунке.

Геометрические характеристики факела распыла это зависимости формы струи или факела распыла от перепада давления топлива $\Delta p_{T.0}^*$. Как правило, их форма описывается одним или двумя параметрами - углом раскрытия γ факела, град. и дальностью струи L , м.

Расходно-геометрические характеристики струй или факелов распыла это зависимости параметров, определяющих закон распределения массы распыленного топлива в пространстве или неравномерность его распределения по массе, например местного расхода топлива $\Delta G_T(x, y)$ через малую площадку ΔS или плотности орошения $q = \Delta G_T(x, y) / \Delta S$, (г/с)/см² от геометрических, режимных параметров работы форсунки.

Дисперсная характеристика это зависимость величины среднего диаметра капель (СДК, в микрометрах) от перепада давления топлива $\Delta p_{T.0}^*$ в форсунке. Используют различные по смыслу СДК - средний арифметический, средний по массе всех капель, средний по боковой поверхности испарения и другие. Для характеристики неоднородности капель по размерам используют форму спектра или функции распределения капель по диаметрам $f(d_k)$.

Теоретическое описание движения жидкости через струйные форсунки базируется на двух уравнениях:

а) Уравнение расхода топлива ($G_{T.t}$, кг/с):

$$G_{T.t} = \rho_T \cdot w_t \cdot F_c, \quad (2)$$

где: ρ_T - плотность топлива, кг/м³;

w_t - теоретическая скорость истечения топлива из сопла форсунки, м/с

(это скорость в плоскости выходного сечения сопла);

F_c - площадь выходного поперечного сечения канала сопла, м².

Если сопло с поперечным сечением в форме круга радиусом r_c , то

$$F_c = \pi \cdot r_c^2;$$

б) Уравнение Бернулли для идеальной несжимаемой жидкости:

$$p_{T.0}^* = p_{T.0} + \rho \cdot \frac{w_t^2}{2g}, \quad (3)$$

где: $p_{T.0}$ - давление топлива в потоке жидкости перед форсункой, Н/м²;

Из уравнения (3) в предположении равенства давления в потоке на срезе сопла $p_{T.0}$ давлению газа в камере сгорания p_K^* получим теоретическую скорость истечения топлива w_t :

$$w_t = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T.0}^*}{\rho_T}}, \quad (4)$$

После подстановки этого выражения для w_t - в формулу для расхода топлива (2) получим:

$$G_{T.t} = F_c \cdot \rho_T \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T.0}^*}{\rho_T}} = (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T.0}^*}, \quad (5)$$

В действительности, в силу наличия при течении реальной жидкости через форсунку различных завихрений, пограничных слоев, вязкого гидравлического и поверхностного трения, создающих гидравлические сопротивления и из-за чего действительная скорость истечения $w < w_t$, фактический расход топлива G_T :

$$G_T = \mu \cdot G_{T.t} = \mu \cdot (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T.0}^*}, \quad (6)$$

где: μ - коэффициент расхода топлива форсунки, с помощью которого учитывают все вышеперечисленные гидравлические потери, $\mu < 1$.

Величина μ , как правило, не рассчитывается, а определяется экспериментально, при так называемых «проливках» форсунок.

Однако, в уравнении расхода топлива через форсунку (6), отсутствует коэффициент, который учитывал бы расход топлива при загрязнении сопловых отверстий в зависимости от пробега.

Нами предложено учитывать изменение среднего отклонения значений расхода топлива в зависимости от загрязнений сопловых отверстий и пробега.

В ходе экспериментальных исследований были получены характерные точки среднего отклонения значений расхода топлива (Δq_{cp}) в зависимости от пробега до и после очистки ультразвуком (рисунок 1). С увеличением пробега (наработки) при загрязнении сопловых отверстий ЭМФ, возрастает отклонение расхода топлива до 25,2 % по всему интервалу изменения пробега, что подтверждает необходимость в ультразвуковой очистке ЭМФ.

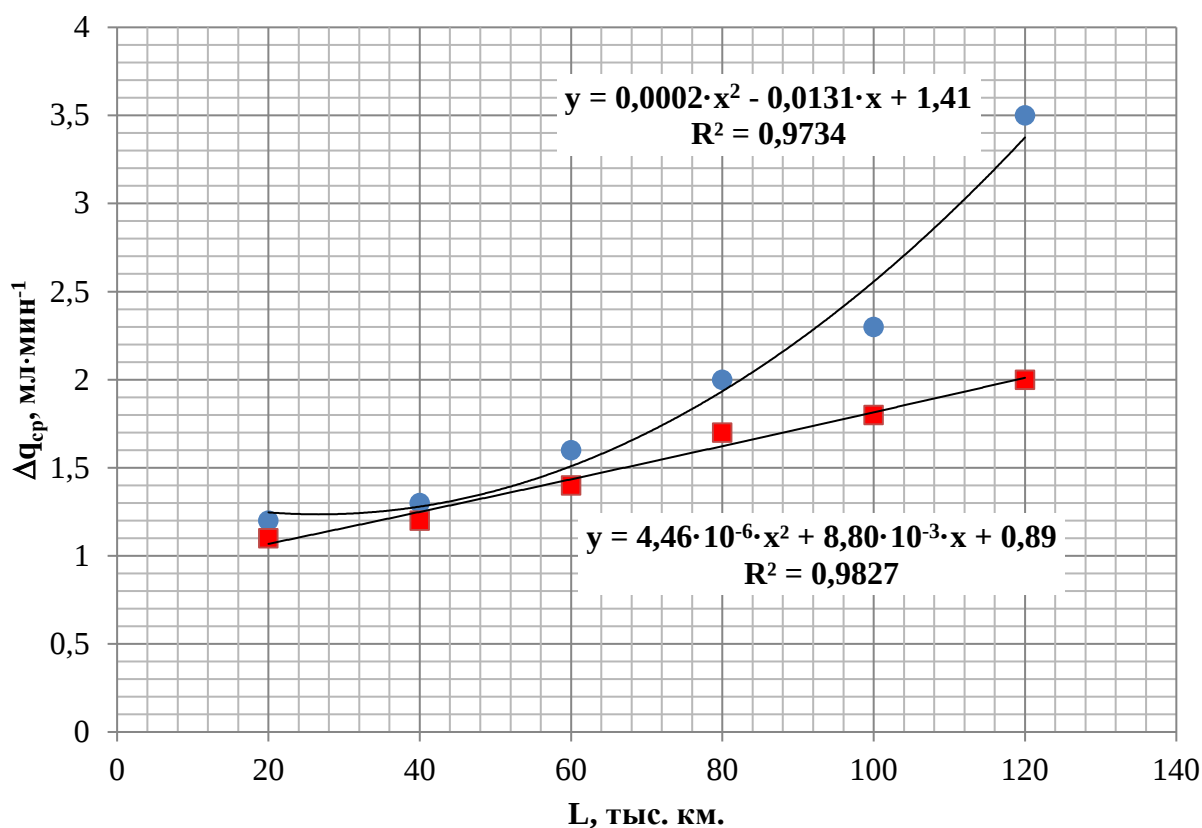
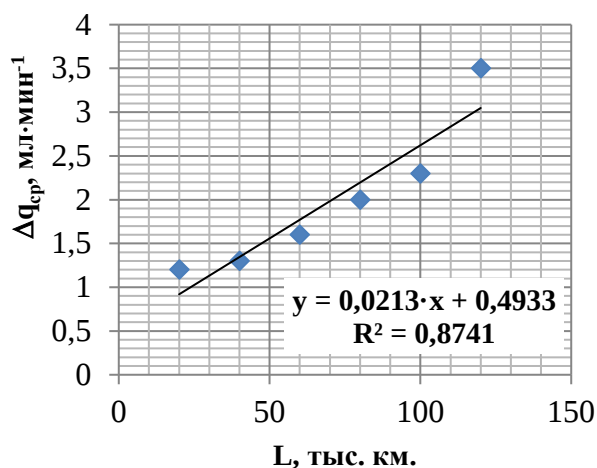


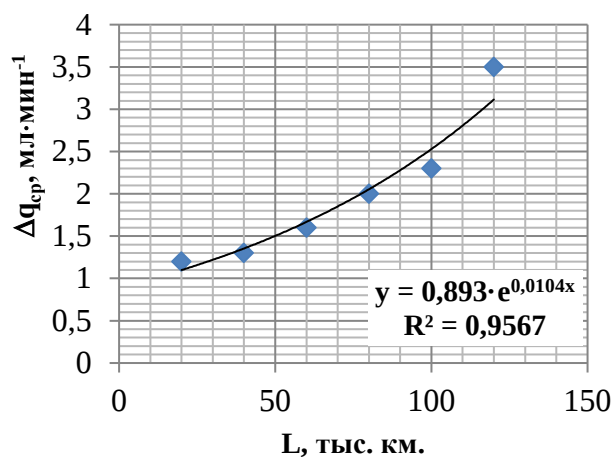
Рисунок - 1. Среднее отклонение значений расхода топлива (Δq_{cp}) в зависимости от пробега (L) до и после очистки ультразвуком: ● - до очистки ультразвуком; ■ - после очистки ультразвуком.

По результатам обработки статистических данных, проведена аппроксимация полученных значений до очистки ультразвуком с целью определения характера зависимостей (рисунок 2).

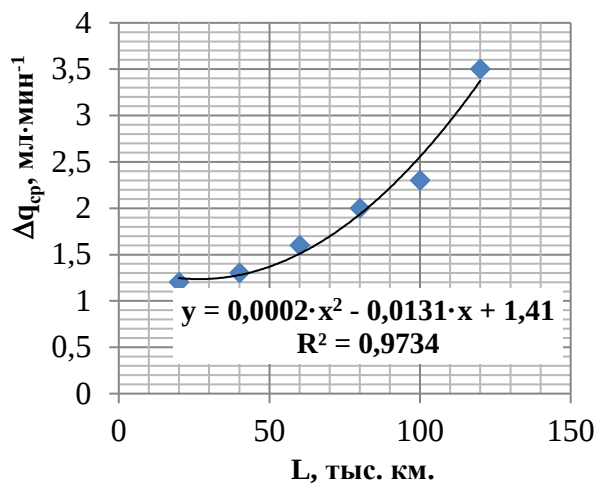
Из сопоставления значений коэффициентов детерминации (таблица 1) следует, что наибольшее значение параметра R^2 , наблюдается для уравнения регрессии, полученного аппроксимацией данных полиномом второй степени. Следовательно, это квадратичное уравнение наиболее полно отражает изменение Δq_{cp} от пробега автомобиля (L).



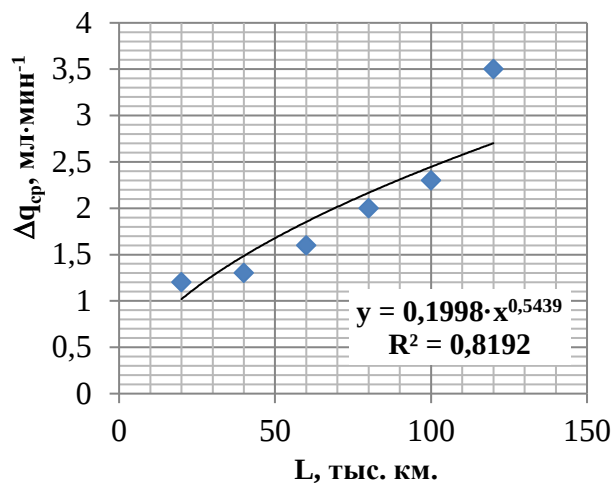
Линейная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива (Δq_{cp}) в зависимости от пробега (L).



Экспоненциальная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива (Δq_{cp}) в зависимости от пробега (L).



Полиномиальная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива (Δq_{cp}) в зависимости от пробега (L).



Степенная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива (Δq_{cp}) в зависимости от пробега (L).

Рисунок 2. Аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива (Δq_{cp}) в зависимости от пробега (L).

Таблица 1. Уравнения полученных регрессий и коэффициенты детерминации (R^2)

№ п/п	Уравнение		R^2
1	Линейная аппроксимация	$y = 0,0213 \cdot x + 0,4933$	0,8741
2	Экспоненциальная аппроксимация	$y = 0,893 \cdot e^{0,0104x}$	0,9567
3	Полиномиальная аппроксимация	$y = 0,0002 \cdot x^2 - 0,0131 \cdot x + 1,41$	0,9734
4	Степенная аппроксимация	$y = 0,1998 \cdot x^{0,5439}$	0,8192

Для оценки возможности практического использования уравнения необходимо проверить его на адекватность при помощи критерия Фишера. Критерием статистической значимости (адекватности) уравнений регрессии является условие, при котором $F_{расч} > F_{крит}$. А точность математической модели оценивали по величине ошибки аппроксимации. Высокая точность математической модели характеризуется значениями $\bar{A}$ ниже 10% (таблица 2).

Таблица 2. Оценка адекватности уравнения

Регрессия	$\bar{A}$, %	η	$F_{расч}$	$F_{крит}$	$R^2_{сбор}$	R^2
Полиномиальная	1.94	0.99	693.96	9.55	0.99	0,9734

Расчетные значения критерия Фишера больше его критического значения. Следовательно, уравнение регрессии адекватно. В результате подстановки этого полиномиального выражения в формулу (6) получили уравнение среднего значения расхода топлива (7) от пробега:

$$G_T = \mu \cdot (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T,0}^*} \cdot (0,0002 \cdot x^2 - 0,0131 \cdot x + 1,41) \quad (7)$$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» использованы существующие методики и разработана программа экспериментальных исследований.

Программа исследований предусматривала оценку технического состояния ЭМФ с использованием установки «НР-6В» для очистки и анализа топливных форсунок в комплекте с ультразвуковой ванной «Ultrasonic Cleaner». Измерения производительности форсунок осуществлялись до и после ультразвуковой очистки ЭМФ в 4-х режимах, которые имитировали различные режимы работы двигателя.

Техническое состояние ЭМФ оценивали по среднему значению погрешности измерения производительности ($\Delta q_{ср}$), рассчитанному как $\Delta q_{ср} = (\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 + \Delta q_4) / 4$ ($\Delta q_1 - \Delta q_4$ - погрешности измерения производительности на соответствующих 4 режимах испытания).

Эффективность ультразвуковой очистки ЭМФ на энергетические характеристики двигателя ЗМЗ-4062.10 автомобиля ГАЗ 27040V «Фермер» оценивали на стенде с беговыми барабанами Cartec LPS 2510. Так, после

наработки форсунок 40 тыс. км. пробега автомобиля (при отсутствии их периодической очистки) эффективная мощность снижается на 13-19%, эффективный крутящий момент падает на величину 14-16%.

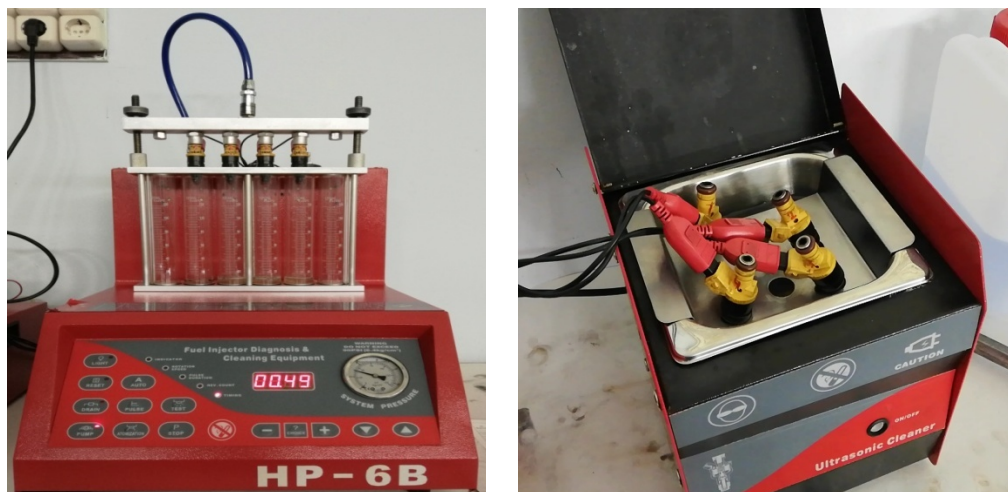


Рисунок 3. Установка AE&T «HP-6B» для очистки и анализа топливных форсунок в комплекте с ультразвуковой ванной «Ultrasonic Cleaner».

Сравнительные испытания энергетических характеристик двигателя автомобиля Газель 27040V «Фермер» с комплектом форсунок до и после ультразвуковой очистки, проводились на роликовом мощностном стенде CARTEC LPS 2510 с одной ведущей осью (рисунок 4).



Рисунок 4. Стенд с беговыми барабанами и ГАЗ 27040V «Фермер».

Снималась внешняя скоростная характеристика. Проведенные эксперименты показали, что эксплуатационные изменения основных рабочих показателей электромагнитных форсунок существенно влияют на энергетические характеристики автомобильного бензинового двигателя. Так, после ультразвуковой очистки форсунок эффективная мощность повышается на 13-19%, эффективный крутящий момент возрастает на величину 14-16%.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 26899-86 «Стенды роликовые для определения параметров тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей и колесных тракторов в условиях эксплуатации. Общие технические требования» и ГОСТ 14846-81 «Двигатели

автомобильные. Методы стендовых испытаний».

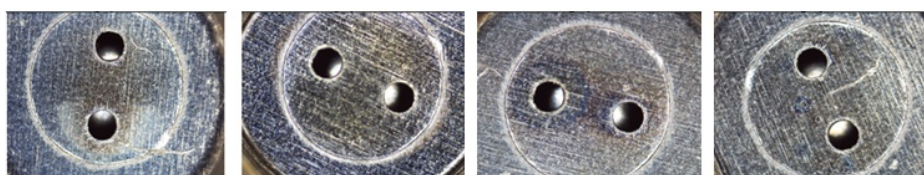
Для оценки экологических показателей использовали газоанализатор Инфракар М2Т (рисунок 5). Так, после ультразвуковой очистки форсунок выброс токсичных компонентов с отработавшими газами – оксида углерода СО уменьшается на 15-25%, углеводородов СН на 15-30%. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ Р 52033-2003 «Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния».

Для анализа изнашивания деталей ЭМФ был исследован распылитель форсунки с помощью цифрового микроскопа. На рисунке 6 представлены характерные фотографии сопловых отверстий ЭМФ: новой; с пробегом 40 тыс. км.; с пробегом 40 тыс. км. после очистки ультразвуком в течение 15 минут.



Рисунок 5. Газоанализатор Инфракар М2Т.

Фотографии сопловых отверстий новых форсунок



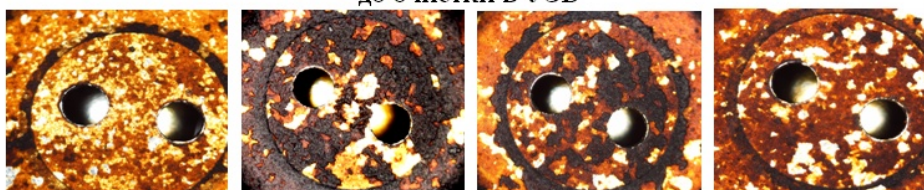
Форсунка 1

Форсунка 2

Форсунка 3

Форсунка 4

Фотографии сопловых отверстий форсунок с пробегом 40 тыс. км до очистки в УЗВ



Форсунка 1

Форсунка 2

Форсунка 3

Форсунка 4

Фотографии сопловых отверстий новых форсунок с пробегом 40 тыс. км. после их очистки в УЗВ в течение 15 минут



Форсунка 1

Форсунка 2

Форсунка 3

Форсунка 4

Рисунок 6. Фотографии загрязнений форсунки и износа ее элементов, полученные с помощью цифрового микроскопа.

Анализ фото показал, что у форсунки с наработкой наблюдаются некоторые последствия износа сопловых отверстий, а именно, изменяется форма и угол выходной фаски соплового отверстия из-за процессов кавитационного изнашивания. В результате изменения формы и угла фаски соплового отверстия изменяется форма конуса распыливания. Эти изменения не могут не сказаться на энергетических и экологических показателях двигателя, что было подтверждено испытаниями.

В четвертой главе «Расчет экономического эффекта предлагаемых мероприятий» приведены расчеты периодичности технического обслуживания топливной аппаратуры (ТА) в зависимости от суммарных удельных эксплуатационных затрат, последовательность и состав работ по ТА и расчет экономического эффекта.

Обоснованы перечень и последовательность работ по техническому обслуживанию топливной аппаратуры бензинового двигателя в процессе эксплуатации с включением в комплекс работ мероприятий по ультразвуковой очистке ЭМФ через ТО-2 (при пробеге около 40 тыс. км.).

Определение периодичности технического обслуживания ТА двигателя ЗМЗ-4062.10 проводилось по технико-экономическому критерию. Данный метод предполагает минимизацию суммарных удельных затрат на ТО и ТР (рисунок 7).

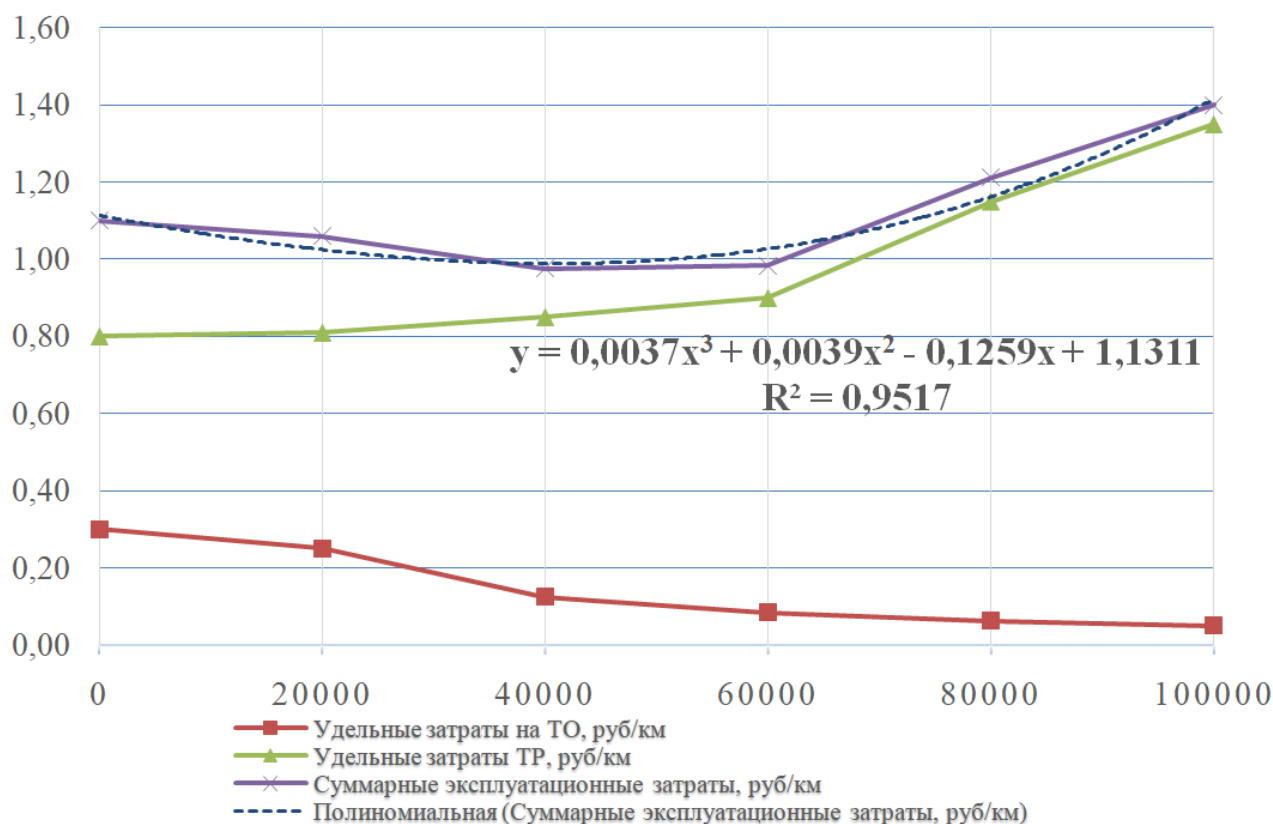


Рисунок 7. Зависимость удельных затрат на ТО и ТР и суммарных удельных затрат от периодичности технического обслуживания.

При анализе полученных данных на рисунке 7, можно говорить о том, что минимальные суммарные удельные затраты, рассчитанные по технико-экономическому критерию, наступают при периодичности ультразвуковой очистки ЭМФ двигателей ЗМЗ-4062.10 при 40 000 км. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных расходов составит 23870,2 рублей на 1 двигатель в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Аналитически обоснована зависимость расхода топлива от пробега при загрязнении сопловых отверстий ЭМФ, характеризующая техническое состояние современных двигателей внутреннего сгорания автомобилей, работающих в АПК. С увеличением наработки при загрязнении сопловых отверстий ЭМФ увеличивается отклонение расхода топлива до 25,2 %. Получено полиномиальное уравнение среднего значения расхода топлива (7) от пробега.

2. Эксплуатационные изменения рабочих показателей ЭМФ существенно влияют на энергетические и экологические характеристики двигателей автомобилей, работающих в АПК. Так, при наработке форсунок, соответствующей пробегу около 40 тыс. км., эффективная мощность после ультразвуковой очистки увеличивается на 13-19%, эффективный крутящий момент увеличивается на 14-16%. При этом снижается выброс токсичных компонентов с отработавшими газами – оксида углерода СО на 15-25 %, углеводородов СН на 15-30%.

3. Разработаны состав и последовательность работ по техническому обслуживанию топливной аппаратуры бензинового двигателя в процессе эксплуатации с включением в комплекс работ ТО мероприятий по очистке ЭМФ, что позволит улучшить энергетические и экологические характеристики двигателей автомобилей, работающих в АПК.

4. С увеличением пробега возрастают суммарные затраты на техническое обслуживание и ремонт топливной аппаратуры. Для снижения суммарных затрат и поддержания топливной аппаратуры в исправном состоянии, предложено техническое обслуживание с периодичностью 40 тыс. км. (через одно ТО-2) по очистке ЭМФ ультразвуком. Годовой экономический эффект от снижения расходов на ТР и экономию топлива составит 23870,2 руб. на один двигатель.

Предложения производству

Для снижения общих затрат и экономии топлива двигателей

автомобилей, используемых в АПК, рекомендуется через ТО-2 (40 тыс. км.) провести очистку ЭМФ ультразвуком.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Разработать рекомендации по перечню и последовательности работ при техническом обслуживании двигателей автомобилей с ЭМФ, выпускаемых в настоящее время.

Разработать устройство для диагностирования современных ЭМФ двигателей автомобилей, работающих в АПК.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Статьи в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ:

1. Ходяков А.А., Хлопков С.В., Бернацкий В.В. Физико-химические свойства дизельного топлива стандарта Евро // Журнал автомобильных инженеров. 2017. № 1 (102). С. 40-43.
2. Ходяков А.А., Хлопков С.В., Абу-Ниджим Р.Х. Контроль рабочих параметров форсунок автотранспортных средств // Автомобильная промышленность. 2017. № 3. С. 28-30.
3. Салим С., Абдель С.Х.И., Бернацкий В.В., Ходяков А.А., Хлопков С.В. Распыливание дизельного топлива с органическими добавками. Известия МГТУ «МАМИ». 2019. № 2 (40). С. 14-19.
4. Ходяков А.А., Хлопков С.В., Абу-Ниджим Р.Х.Ю., Бернацкий В.В., Шабанов А.В. Компонентный состав бензинов стандарта "Евро" // Автомобильная промышленность. 2020. № 1. С. 33-37.

Статьи в других изданиях:

1. Данилов И.К., Ходяков А.А., Хлопков С.В. Влияние ультразвуковой очистки форсунок и промывки инжекторной системы на увеличение мощности и крутящего момента ДВС // Материалы Национальной научно-практической конференции. 14.12.2017, г. Рязань. В сборнике: «Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса»: Часть 2. Изд-во РГАТУ. 2017. - 350 с. С. 69-73.
2. Хлопков С.В., Данилов И.К., Ходяков А.А. Диагностирование тягово-скоростных свойств автомобиля на стенде с беговыми барабанами // Сборник научных трудов по материалам 76-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ: Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Техполиграфцентр" (Москва) 2018. -255 с. С. 207-213.

Статьи в изданиях международных баз данных Scopus:

1. S Khlopkov, I Danilov, A Khodyakov, A Azanov, S Borychev, I Uspensky, G Kokorev, I Yukhin, M Latyshenok, A Asoyan, D Ryabchikov and A Ponomarev. Research of the effect of washing of fuel system engines on traction-speed properties of cars. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 632, Number 1. International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering. 27 May to 1 June 2019, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.
2. Marusin, A.V., Danilov, I.K., Khlopkov, S.V., Marusin, A.V., Uspenskiy, I.A. Development of a mathematical model of fuel equipment and the rationale for diagnosing diesel engines by moving the injector needle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 422, 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming 17–18 October 2019, Voronezh, Russian Federation.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1452

подписано в печать 10.09.2020 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