

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский университет дружбы народов»

*На правах рукописи*



**ХЛОПКОВ СЕРГЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ**

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

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность: 05.20.03. – Технологии и средства технического обслуживания  
в сельском хозяйстве

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Данилов Игорь Кеворкович

Москва, 2020

## АННОТАЦИЯ

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

В первой главе 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.

Во второй главе рассмотрены параметры режима работы ЭМФ и их влияние на расход топлива. Предложено учитывать изменение среднего отклонения значений расхода топлива в зависимости от загрязнений сопловых отверстий и пробега.

В третьей главе рассмотрены и использованы существующие методики и разработана программа экспериментальных исследований.

В четвертой главе 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.).

Сформулировано заключение.

Приведен библиографический список источников, цитируемых автором в работе.

В приложениях представлены акты внедрения.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1. Анализ технического состояния топливной аппаратуры двигателей...	11
1.2. Форсунки, применяемые в топливоподающей аппаратуре с распределенным впрыском топлива.....	16
1.3. Неисправности и нарушения исправного состояния электромагнитных форсунок.....	20
1.4. Способы очистки электромагнитных форсунок.....	23
1.5. Механизм удаления загрязнений моющим раствором в ультразвуковом поле.....	28
1.6. Постановка цели и задач исследования.....	32
1.7. Выводы по первой главе.....	32
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ РАСПЫЛИТЕЛЯ ФОРСУНКИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	33
2.1. Математическая модель объекта моделирования.....	33
2.2. Схема создания математической модели.....	34
2.3. Типовые математические схемы моделирования.....	34
2.4. Регрессионные модели.....	35
2.5. Регрессионный анализ погрешности измерения производительности форсунок в зависимости от пробега автомобиля.....	36
2.6. Выводы по второй главе.....	44
Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	45
3.1. Задачи исследования.....	45
3.2. Методика оценки очистки поверхностных загрязнений с элементов форсунок.....	46
3.3. Методика оценки технического состояния форсунок.....	50
3.4. Методика очистки форсунок в ультразвуковой ванне.....	55

3.5. Методика исследования элементов проточной части форсунок с помощью цифрового микроскопа и оценка качества очистки.....	58
3.6. Методика оценки энергетических характеристик двигателя на роликовом мощностном стенде CARTEC LPS 2510.....	63
3.6.1. Конструктивные особенности стенда и размещение измерительного оборудования.....	65
3.6.2. Методика проведения экспериментальных исследований.....	74
3.6.3. Результаты испытаний и их анализ.....	76
3.7. Методика оценки экологических показателей двигателя.....	80
3.8. Выводы по третьей главе.....	89
Глава 4. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	91
4.1. Разработка технологического процесса очистки распылителей форсунок моющим раствором в ультразвуковом поле.....	91
4.2. Определение периодичности технического обслуживания топливной аппаратуры двигателя ЗМЗ-4062.10.....	92
4.3. Техничко-экономическая оценка эффективности исследования.....	94
4.4. Выводы по четвертой главе.....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	98
Список использованной литературы.....	100
Приложения.....	116

## ВВЕДЕНИЕ

**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.,

Борычева 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 за счет их промывки.

Однако в трудах этих ученых не исследовались вопросы оценки изменения технического состояния ЭМФ с 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 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 РГАТУ 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.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1 Анализ технического состояния топливной аппаратуры двигателей

Усложнение автомобилей и усиление требований к его агрегатам и системам привели к тому, что проблема повышения их надежности приобрела огромное значение. Ненадежный автомобиль не может эффективно функционировать, так как каждый его отказ влечет за собой значительные материальные потери, а суммарные ежегодные затраты на поддержание автотранспортных средств в работоспособном состоянии непрерывно растут. Все это в полной мере относится и к основному агрегату автомобиля, его силовой установке. Анализ показателей надежности двигателей показывает, что вероятность возникновения отказов и неисправностей в их конструктивных элементах достаточно велика (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Распределение отказов двигателя ЗМЗ-4062.10

Наименование элементов силового агрегата	Доля отказов, %	Средняя наработка на отказ, км	Коэффициент вариации	Затраты на ремонт, руб.			
				За услуги		На запчасти	
				Сред. значение	Коэф. вариации	Сред. значение	Коэф. вариации
<b>1. Система питания с распределенным впрыском топлива</b>	<b>25,59</b>	<b>35990</b>	<b>1,027</b>	<b>2331</b>	<b>0,947</b>	<b>3722</b>	<b>0,983</b>
2. Подшипники коленчатого вала, шатун	18,32	36586	1,193	5703	0,259	93458	1,061
3. Цилиндропоршневая группа	14,05	36670	1,273	4322	0,712	16934	0,714
4. Система охлаждения	5,42	14243	1,073	532	0,673	1753	1,012
5. Головка блоков цилиндра	7,89	35613	1,102	1416	0,498	2385	0,593
6. Газораспределительный механизм	5,50	36627	1,147	750	0,342	1745	0,508
7. Система смазки	6,95	29526	0,887	572	0,525	3310	0,651
8. Стартер	4,71	62342	0,741	2105	0,357	1107	0,458
9. Генератор	4,86	77132	0,611	686	0,295	2826	0,402
10. Блок цилиндров	6,71	167347	1,178	10370	0,371	105000	0,272
Силовой агрегат в целом	100	23140	1,021	1613	1,138	11272	2,414

Анализ элементов топливной аппаратуры (ТА) бензиновых двигателей, устанавливаемых на транспортные средства малой и средней грузоподъемности показал, что наибольшая доля отказов приходится на систему питания с распределенным впрыском.

В настоящее время наибольшее распространение получили системы питания с распределенным впрыском топлива и электронным управлением [11, 34, 37, 39, 45, 54, 86, 87, 91, 95, 104]. Систему такого типа (рисунок 1.1) имеет и двигатель ЗМЗ-4062.10, устанавливаемый на автомобили семейства ГАЗ, которые активно используются в агропромышленном комплексе [82].

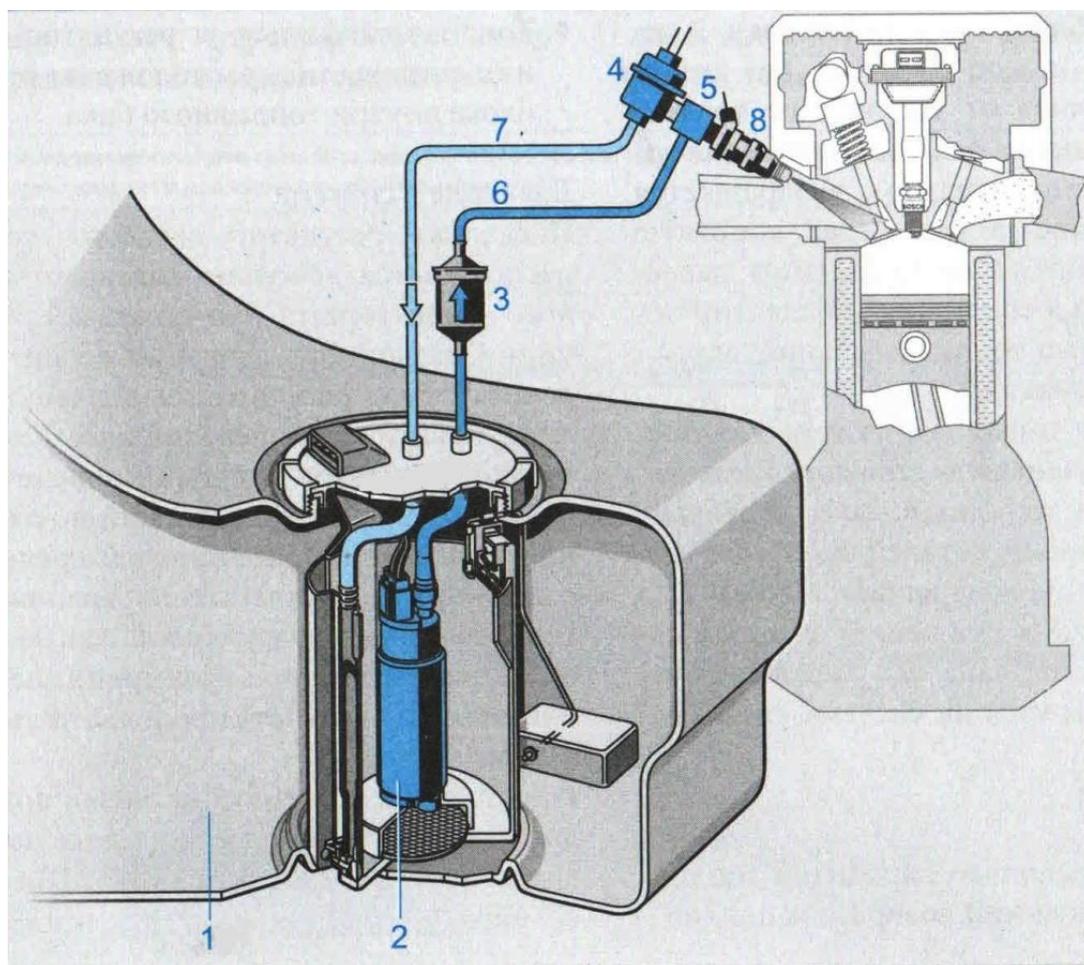


Рисунок 1.1 – Схема системы впрыска топлива:

1 - топливный бак; 2 - электробензонасос; 3 - топливный фильтр тонкой очистки топлива; 4 - регулятор давления топлива; 5 - топливная рампа; 6 - линия подачи топлива; 7- линия возврата топлива; 8 - электромагнитные форсунки.

Система подачи топлива с распределенным впрыском топлива во впускной трубопровод содержит следующие элементы:

- топливный бак;
- электробензонасос;
- топливный фильтр тонкой очистки топлива;
- регулятор давления топлива;
- топливная рампа;
- электромагнитные форсунки.

Топливный бак представляет из себя резервуар для хранения топлива. Корпус топливного бака обладает коррозионно-устойчивыми свойствами и сохраняет герметичность при превышении рабочего давления [3, 39, 54, 82, 95].

Электрический бензиновый насос (ЭБН) должен постоянно подавать к двигателю достаточное количества топлива при любых условиях работы с низким уровнем шума, под требуемым давлением и на протяжении всего срока службы автомобиля [3, 39, 54, 82, 95]. Основные требования, предъявляемые к топливному насосу:

- величина подачи топлива при номинальном электрическом напряжении должна составлять 60-200 л/ч;
- давление в топливной магистрали должно составлять 300-450 кПа (3,0-4,5 бар);
- обеспечение повышения давления при падении напряжения до 50-60% от номинального уровня.

Топливный фильтр тонкой очистки топлива осуществляет фильтрацию топлива, поступающего в топливную систему. Корпус фильтра содержит фильтрующий элемент, задерживающий частицы грязи. В качестве фильтрующей среды используется специальная, пропитанная смолой бумага из целлюлозного волокна. Эффективность фильтрации и сопротивление фильтра потоку определяется пористостью бумаги и распределением пор. Фильтрующий элемент для систем с впрыском топлива во впускной

трубопровод имеет среднюю ширину пор приблизительно 10 мкм. [3, 39, 54, 82, 95].

Регулятор давления топлива возвращает такое количество топлива обратно в топливный бак, что перепад давлений на форсунке остается постоянным. Регулятор установлен на топливной рампе, предназначен для поддержания постоянного перепада давления между топливом и воздухом во впускном коллекторе при распылении топлива ЭМФ [3, 39, 54, 82, 95].

Топливная рампа служит для накопления топлива, которое требуется для впрыска топлива, сглаживания пульсаций давления форсунками и равномерного распределения топлива по всем форсункам [3, 39, 54, 82, 95].

Электромагнитная форсунка служит для впрыскивания дозированных порций топлива во впускной трубопровод под давлением. Управление форсункой осуществляется за счет изменения длительности управляющего сигнала, который подается с электронного блока управления [3, 39, 82, 95].

В процессе эксплуатации бензиновых двигателей происходят изменения рабочих показателей топливной системы [36, 75].

Основными причинами этого являются, как износ деталей и узлов, так и загрязнения магистралей и механизмов топливной системы.

Износ:

- электрический бензиновый насос (щетки и клапана);
- седло и игла электромагнитной форсунки;
- регулятор давления топлива (износ мембраны).

Вышеперечисленные и другие факторы приводят к изменению рабочего давления в системе (снижение и пульсация), что приводит ухудшению эксплуатационных показателей автомобиля.

Загрязнения:

- на пропускную способность топливопроводов и фильтров влияет наличие механических примесей в топливе, что приводит к уменьшению их пропускной способности;

- лаковые и смолистые отложения уменьшают проходное сечение клапанов и фильтров, а также приводят к изменению формы струи электромагнитной форсунки.

На загрязнения топлива влияют, в том числе и механические примеси, попадающие при транспортировке, продукты коррозии емкостей для хранения (например, в емкостях предприятий АПК) и вода, попадающая в топливо вследствие конденсации паров при хранении.

Количество и состав примесей в топливе зависит от условий, сроков хранения и транспортировки до места реализации.

Анализ статистических данных показывает, что в основном на работу топливной системы влияют смолистые отложения на элементах электромагнитной форсунки, в то время как отложения в магистралях и фильтрах не вносят изменений в работу топливной системы [36, 37, 54].

На процесс образования отложений в электромагнитной форсунке влияет то, что распылитель форсунки располагается в непосредственной близости от впускных клапанов и на распылителе воздействует повышенная температура. На них оседает часть топлива, которая под воздействием повышенной температуры подвергается интенсивному окислению углеводородов и смолистых веществ с образованием уплотненных, нерастворимых в бензине продуктов.

Указанные отложения отрицательно сказываются на форме распыливания топлива, которая не соответствует первоначальным параметрам струи, указанным заводом изготовителем [13, 38, 74].

Распыливание струи топлива приводит к образованию капель (тонкость распыла), которые в дальнейшем дробятся на более мелкие (рисунок 1.2) [3, 71].

Методики устранения вышеуказанных недостатков в форсунках не предусмотрены нормативной документацией [15, 82].

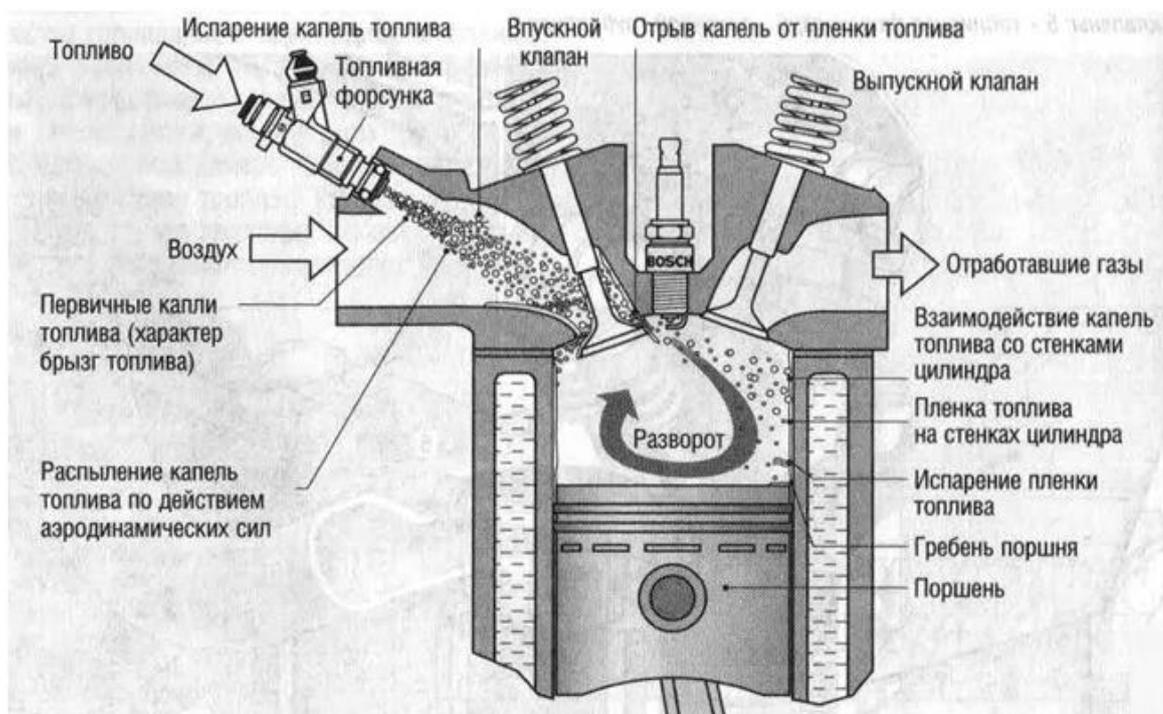


Рисунок 1.2 – Механизмы и факторы, влияющие на смесеобразование при впрыске топлива во впускной трубопровод

## 1.2 Форсунки, применяемые в топливоподающей аппаратуре с распределенным впрыском топлива

Компоненты системы смесеобразования должны обеспечивать надлежащее образование топливно-воздушной смеси при использовании той или иной системы впрыска топлива. В системе с впрыском топлива во впускной коллектор это в основном задача электромагнитной форсунки [3, 34, 95].

Электромагнитная форсунка включает следующие основные компоненты (рисунок 1.3):

- корпус клапана с электрическим и гидравлическим соединителями;
- электромагнитная катушка;
- игольчатый клапан с якорем электромагнита и шариком клапана;
- седло клапана с диафрагмой;
- пружина клапана.

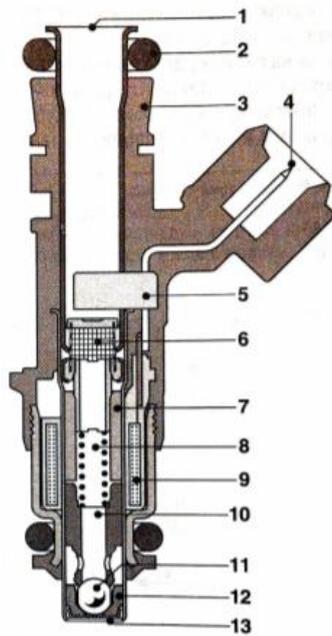


Рисунок 1.3 – Электромагнитная форсунка: 1 - гидравлический канал; 2 - уплотнительное кольцо; 3 - корпус клапана; 4 - электрический вывод; 5 - пластмассовый зажим со штифтами; 6 - сетчатый фильтр; 7 - внутренний полюс; 8 - пружина клапана; 9 - катушка электромагнита; 10 - игла клапана с якорем; 11 - шарик клапана; 12 - седло клапана; 13 - распылительная пластина с отверстиями.

Фильтр на впуске топлива защищает форсунку от загрязнений. Уплотнительное кольцо 2 (круглого сечения) на гидравлическом соединении служит для уплотнения форсунки в топливной рампе. Нижнее уплотнительное кольцо обеспечивает уплотнение между форсункой и впускным трубопроводом.

Когда катушка электромагнита обесточена, шарик игольчатого клапана 11 прижимается к седлу 12 конической формы пружиной 8 с усилием, создаваемым давлением топлива. При этом система подачи топлива изолирована от впускного трубопровода.

Когда на катушку электромагнита подается электрическое питание, создается магнитное поле, притягивающее якорь электромагнита игольчатого клапана. Шарик клапана поднимается над седлом, и происходит впрыск топлива. Когда катушка обесточена, игольчатый клапан закрывается под действием усилия пружины.

Топливо распыляется пластиной 13 с отверстиями. Для лучшего распыления топлива ранее использовавшиеся распылительные пластины с четырьмя отверстиями были заменены на распылительные пластины с большим количеством отверстий (до двенадцати). Штампованные диафрагмы обеспечивают качественную стабильность количества впрыскиваемого топлива. Форма струи топлива, выходящей из форсунки, определяется количеством отверстий в распылительной пластине и их конфигурацией.

Количество топлива, впрыскиваемое за единицу времени, определяется в основном предварительным давлением в системе подачи топлива, противодавлением во впускном трубопроводе и геометрией области выпуска топлива.

Процесс образования струи топлива, т.е. её форма, угол рассеивания и размер капель топлива оказывают влияние на образование топливно-воздушной смеси. Различная геометрия впускного трубопровода и головки блока цилиндров вызывают необходимость в создании струй топлива различной формы (рисунок 1.4) [3, 34, 95].

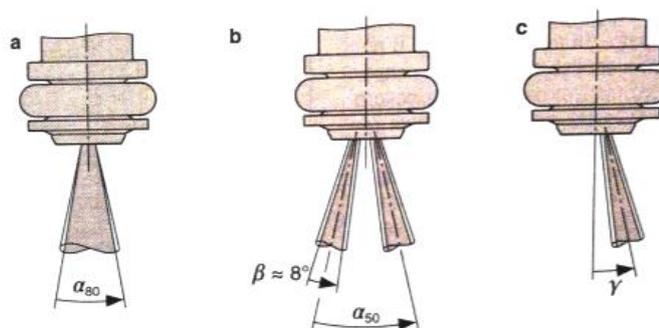


Рисунок 1.4 – Формы струй топлива: а - конусная струя; б - двойная струя; с - смещенная струя

*Конусная форма распыления.* Отдельные струи топлива, выходящие из отверстий распылительной пластины, вместе образуют конусную струю.

Форсунки, обеспечивающие конусную форму струи топлива, обычно устанавливаются на двигателях с одним впускным клапаном на каждый

цилиндр. Однако они могут использоваться и на двигателях с двумя впускными клапанами на одном цилиндре.

*Двухструйная форсунка.* Двухструйные форсунки часто используются на двигателях с двумя впускными каналами на одном цилиндре. Отверстия в распылительной пластине расположены таким образом, что из форсунки выходят две конусные струи, направленные к соответствующим впускным клапанам или на перегородку между впускными клапанами.

*Форсунка с угловым отклонением струи.* Струя топлива выходит из форсунки под углом к её оси.

Такие форсунки в основном используются, когда конструктивные особенности камеры сгорания не позволяют использовать форсунку с осевым направлением струи.

*Электрическая активация форсунки.* Выходной модуль в блоке управления двигателем приводит форсунку в действие, подавая на нее сигнал (рисунок 1.5, а). При подаче напряжения электрический ток в катушке электромагнита возрастает (рисунок 1.5, б), что вызывает подъем иглочатого клапана (рисунок 1.5, в). Максимальный подъем клапана достигается по истечении времени подъема. Впрыск топлива начинается, как только шарик клапана выходит из седла. Зависимость количества впрыскиваемого топлива от времени приведена на рисунке 1.5, d.

Поскольку после обесточивания катушки магнитное поле не исчезает мгновенно, клапан полностью закрывается по истечении времени размагничивания (отпадания) [3, 34, 95].

Нелинейность характеристики на участках открытия и отпадания клапана форсунки должна быть скомпенсирована в течение периода открытого состояния форсунки (время впрыска). Скорость подъема шарика клапана также зависит от напряжения аккумуляторной батареи. Влияние напряжения компенсируется посредством коррекции продолжительности впрыска.

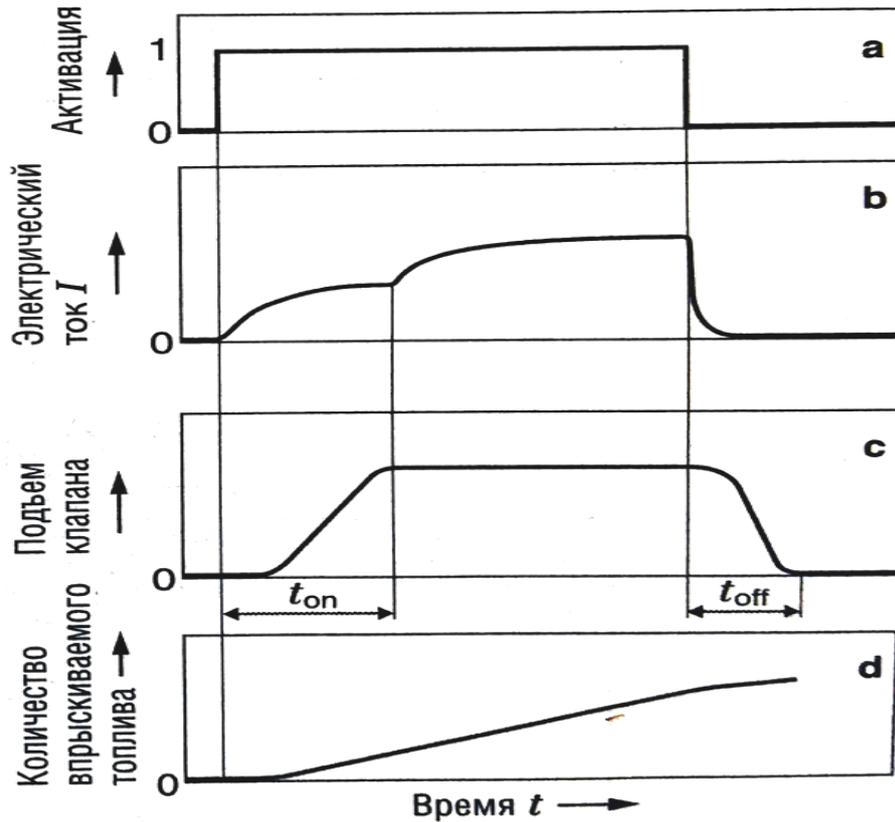


Рисунок 1.5 – Активация топливной форсунки: а - сигнал активации; б - кривая тока; с - подъем; д - количество впрыскиваемого топлива;  $t_{on}$  - время открытия форсунки;  $t_{off}$  - время закрытия форсунки

### 1.3 Неисправности и нарушения исправного состояния электромагнитных форсунок

Неисправность - состояние технического устройства, при котором хотя бы один из его основных или дополнительных параметров не соответствует требованиям, обусловленным технической документацией [62, 72, 84, 115].

Для устойчивой работы двигателя, от электромагнитных форсунок требуется, чтобы они работали без сбоев, точно дозировали количество топлива, требуемого силовым агрегатом [8, 12, 23, 69, 94]. Соединения форсунки с топливным коллектором, также как и само устройство впрыска, должны быть герметичными. Нормативное рабочее давление форсунок и уровни объема впрыска при подаче топлива во впускной трубопровод составляют 250-300 кПа и 132-503 см<sup>3</sup>/мин соответственно [23, 69].

Весьма важным для достижения нормативных энергетических и экологических показателей двигателя являются форма, направление факела топлива и качество его распыла [23, 69]. Следует отметить, что описание распада струй, формируемых форсунками в системе непосредственно впрыска, также как вычисление размера капель в потоке топлива сопряжено со сложностью протекающих при впрыске горючей смеси процессов [59].

Неисправности и нарушения исправного состояния электромагнитных форсунок связаны не только с естественным износом элементов устройства впрыска, но и с их загрязнением. К неисправностям, обусловленным загрязнением, относятся изменения подачи топлива в цилиндры двигателя, изменение формы и направления факела распыла топлива, ухудшение однородности распыливания горючего [5, 14, 16, 59, 69].

Горюче-смазочные материалы, взаимодействуя с металлами, образуют поверхностные загрязнения в виде нагара, лаков и осадков. Механизм образования последних зависит от температуры деталей распылителя, от группового углеводородного состава бензина, присутствия в топливе смолистых веществ. На возникновение отложений оказывает влияние также время контакта топлива и масла с поверхностью проточных элементов электромагнитных форсунок [14, 16, 69, 73]. Особенностью загрязнений деталей двигателей является их высокая адгезия и способность прочно удерживаться на поверхностях деталей и узлов. Условно загрязнения можно разделить на осадки, лаки и нагары, в состав которых входят смолы, асфальтены, карбены и карбоиды. Смолы - вещества сложного химического состава, которые под влиянием температуры и других факторов уплотняются и переходят в асфальтены. В дальнейшем этот вид загрязнений также претерпевает изменения, превращаясь в высокоуглеродистые соединения - карбены и карбоиды. Кроме того, в состав эксплуатационных загрязнений входят продукты сгорания и термического распада топлива - частицы сажи и коксообразных веществ.

Все вышеперечисленные загрязнения откладываются на распылителях форсунок в виде липких высокомолекулярных соединений (пленок). Пленка, в свою очередь, удерживает на своей поверхности микрочастицы масла и топлива. Вся эта масса со временем спекается, толщина слоя увеличивается. Данный процесс происходит циклически, в условиях меняющихся параметров работы двигателя в целом. Особенно этот процесс проявляется после остановки двигателя, когда температура корпуса форсунки возрастает за счет нагрева от горячего двигателя, а охлаждающее действие потока бензина и воздуха отсутствует. Легкие фракции бензина в рабочей зоне форсунки испаряются, а тяжелые накапливаются в виде смолистых отложений, уменьшающих сечение калиброванного канала [9, 23, 35, 107, 109].

Интенсивность нагарообразования зависит от качества рабочих жидкостей, режимов эксплуатации, состояния двигателя и выражается в виде нагара, который бывает рыхлый, плотный и маслянистый.

Существуют основные три группы загрязнений, которые отличаются физико-химическими и механическими свойствами.

- I группа** - адгезионно-связанные (слабосвязанные) загрязнения;
- II группа** - поверхностно адсорбционно-связанные загрязнения;
- III группа** - прочно (глубинно) связанные загрязнения.

II и III группы загрязнений наиболее характерны для топливной аппаратуры бензинового двигателя (рисунок 1.6).

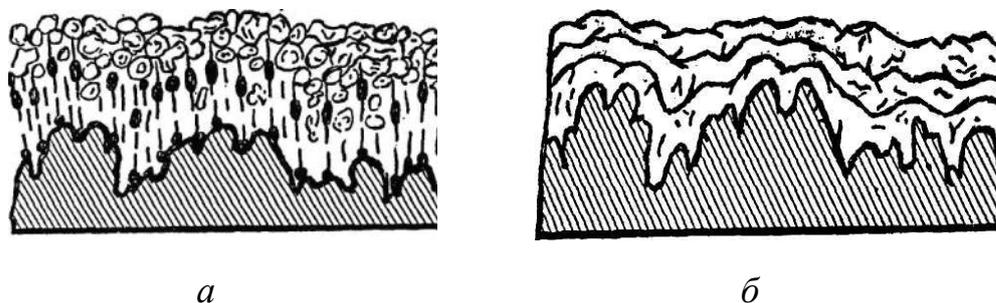


Рисунок 1.6 – Схема образования загрязнений на деталях топливной аппаратуры:

а - поверхностно адсорбционно-связанные; б - прочно (глубинно) связанные

К **I группе** относятся загрязнения, которые беспорядочно расположены в виде частиц пыли различной природы с небольшим содержанием органических веществ, которые слабо удерживаются на поверхности за счет молекулярных и электростатических сил.

К **II группе** относятся загрязнения в виде масел, смолистых отложений с большим содержанием органических веществ. Эти загрязнения, в отличие от I группы, удерживаются на поверхности еще и за счет частичного поглощения загрязнений твердой поверхностью.

К **III группе** относятся загрязнения в виде лаковых отложений, продуктов коррозии, окалины и т.п. Все эти загрязнения удерживаются на поверхности исключительно за счет прочного погашения твердой поверхностью.

Проведенный анализ показал, что наиболее характерными загрязнениями деталей топливной аппаратуры (особенно распылителей форсунок) являются нагары, лаковые и полимеризованные смолистые отложения, которые трудноудаляемы и стойки к воздействию моющих сред и растворителей.

#### **1.4 Способы очистки электромагнитных форсунок**

Одним из способов, предотвращающих образование отложений на поверхности форсунок, восстанавливающих их работоспособность, удаляющих с инжекторов угольную пыль смолу и смазку, является введение в бензин (непосредственно производителем) моющих присадок или препаратов, добавляемых в топливо автомобилистами [14, 21, 23, 46, 57, 69, 73, 92]. Присутствие моющих присадок регламентируется нормативами и ГОСТами. Так, в современных марках бензина, выпускаемых в России, применение моющих присадок допускается, в требованиях Мировой топливной хартии к качеству топлива использование этих препаратов является обязательным только в развитых странах [21, 57].

Эффективность действия присадок, обладающих моющими свойствами различна. До настоящего времени специалистами проводятся исследования, целью которых является синтез композитов, позволяющих получить от химического реагента максимальную отдачу не только в предотвращении

образования грязевых отложений, но и в восстановлении работоспособности электромагнитных форсунок [113].

Ассортимент присутствующих в торговых сетях препаратов - очистителей инжекторов, добавляемых в бензин весьма обширен. Для подтверждения их эффективного действия проводят испытания, снимая показатели стендового двигателя при работе на базовом бензине и бензине, содержащем такой препарат [46, 113].

Мероприятия, связанные с очисткой форсунок без их снятия с двигателя, проводят посредством введения в бензин препаратов, обладающих моющим действием. Существует способ, при котором применяют промывочную жидкость (сольвент-декорбанайзер), являющуюся также как и бензин для двигателя топливом [16, 23, 37, 69, 73, 92, 111]. При этом также как и в первом случае форсунки с топливной рампы не демонтируют. Промывку проводят в течение 20-25 мин на работающем двигателе. Штатную систему подачи топлива отключают, а вместо нее используют специальную установку, при использовании которой очистку проводят без циркуляции сольвента (топлива) или с циркуляцией топлива [23, 37].

В настоящее время на СТО наиболее популярна очищающая жидкость известной бельгийской фирмы WYNN'S.

Анализируя данные по оценке технического состояния топливной системы автомобилей VW Tiguan до и после очистки жидкостью WYNN'S, производственную проверку которой мы проводили на СТО ООО «АВТОРУСЬ ИЗМАЙЛОВО» в г. Москве можно сделать следующий вывод.

Современные топливные системы имеют очень точную настройку, и поэтому они очень чувствительны к различного рода негативным воздействиям от химических реакций, происходящих в топливе. Они приводят к засорению топливной системы, плохой смазке, коррозии и другим неисправностям. На автомобилях с пробегом возникают проблемы с получением правильной топливной смеси (соотношения воздух / топливо) и эффективностью ее сгорания. Это происходит за счет накопления отложений в топливной системе и износа деталей. Однако, состав жидкости WYNN'S эффективно очищает форсунки от загрязнений, удаляет воду, защищает детали топливной системы от коррозии. Результаты нашего анализа приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты производственной проверки

VIN номер автомобиля VW Tiguan	Пробег	Год выпуска	Причина обращения	Проведенные работы	Результат
XW8ZZZ5NZCG1260 34	94 327	2012	Высвечивается индикация неисправности ДВС «Check Engine»	Очистка жидкостью WYNN'S	Индикация неисправности ДВС «Check Engine» не отображается
XW8ZZZ5NZCG1234 93	97 289	2012	Высвечивается индикация неисправности ДВС «Check Engine»	Очистка жидкостью WYNN'S	Индикация неисправности ДВС «Check Engine» не отображается
XW8ZZZ5NZE1183 81	48 243	2014	Высвечивается индикация неисправности ДВС «Check Engine»	Очистка жидкостью WYNN'S	Индикация неисправности ДВС «Check Engine» не отображается
XW8ZZZ5NZDG1066 39	64 137	2013	Высвечивается индикация неисправности ДВС «Check Engine»	Очистка жидкостью WYNN'S	Индикация неисправности ДВС «Check Engine» не отображается
XW8ZZZ5NZCG1152 97	123 894	2012	Высвечивается индикация неисправности ДВС «Check Engine»	Очистка жидкостью WYNN'S	Индикация неисправности ДВС «Check Engine» не отображается

Очистку инжекторов после их снятия с двигателя осуществляют в ультразвуковых ваннах, которыми комплектуют диагностические стенды, или на самих стендах, используя в режиме измерения производительности форсунок промывочную жидкость [7, 16, 23, 37, 69, 73, 92, 111, 114]. В основе технологии очистки форсунок с применением высокочастотных волн лежит ультразвуковая кавитация [17, 31, 93, 106].

В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, среди которых особое место занимают транспортные средства малой и средней грузоподъемности с бензиновыми двигателями с распределенным впрыском топлива, на наружных и внутренних поверхностях деталей откладываются технологические загрязнения в виде смазок, масел, жидких углеводородов и продуктов коррозии. В ремонтном производстве на автотранспортных предприятиях для очистки загрязненной поверхности деталей применяют синтетические моющие средства (СМС). Анализ научно-технической литературы показывает, что для повышения технологических свойств СМС к

ним добавляют различные присадки. Для повышения моющих и противокоррозионных свойств добавляют бораты, фосфаты которые характеризуются высоким ингибирующим эффектом по отношению к стали в водно-солевых средах и условиях атмосферы. Известно также, что комплексные соединения обладают, как правило, более высокими моющими и противокоррозионными свойствами, чем их составляющие в отдельности. Поэтому исследование влияния боратфосфатных соединений на технологические свойства водных растворов МЛ-52, МС-8, Лабомид-203 и разработка на их основе эффективных боратфосфатных моющих средств (БФМС), представляют научно-практический интерес [97, 98, 99, 100, 101, 102].

На рисунке 1.7 и в таблице 1.3 отображены преимущества и недостатки способов удаления загрязнений.

Наименьшее количество загрязнений наблюдается при ультразвуковой очистке на частотах 20...40 кГц. При таком, способе количество оставшихся загрязнений не превышает 0,5%.

Анализируя способы очистки, наиболее перспективным является использование ультразвуковой очистки, которая позволяет удалять трудноудаляемые загрязнения с электромагнитных форсунок и деталей топливной аппаратуры [17, 26, 31, 50, 60, 67, 83, 93, 103, 106]. Данный способ очистки наиболее перспективно использовать на предприятиях эксплуатирующих транспортную сельскохозяйственную технику.

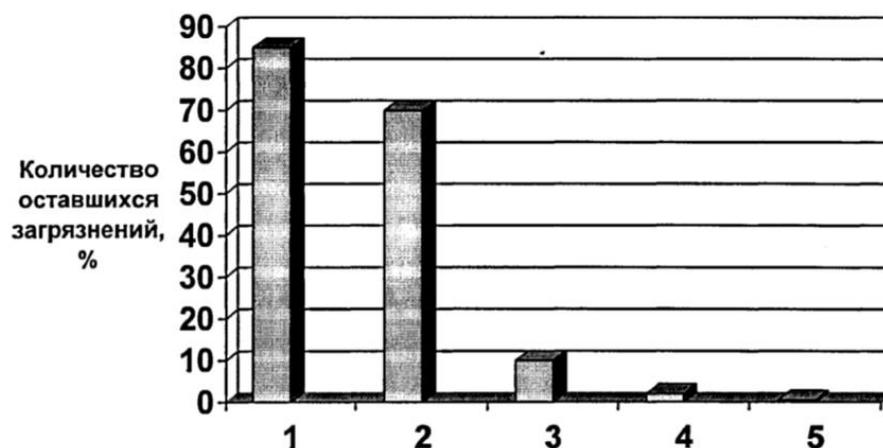


Рисунок 1.7 – Влияние способа удаления загрязнений на качество очищенной поверхности:

1 - струйная очистка в водных растворах; 2 - очистка в органических растворителях; 3 - механическая очистка; 4 - ультразвуковая очистка (частота 400...600 кГц); 5 - ультразвуковая очистка (частота 20...40 кГц)

Таблица. 1.3 – Сравнительный анализ различных способов удаления загрязнений с деталей топливной аппаратуры

Наименование способа		Очищаемые детали	Применяемое оборудование	Преимущества	Недостатки
Механический ручной		Корпуса, прецизионные детали	КИ-5319, щетки, скребки	Универсальность, простота	Низкая производительность труда и культура производства
Струйный	с использованием водных растворов моющих средств	Все детали, кроме прецизионны	ОМ-12077 ОМ- 1418А ОМ-1459А ОМ-12139 и др.	Доступность, использование водных растворов экологически безопасных моющих средств, высокая производительность	Недостаточное качество очистки при удалении твердых загрязнений и очистки замкнутых полостей, карманов
			ОМ-5287 ОМ-5288 и др		
Погружной	с использованием органических растворителей	Все детали	ОРГ-4990В и др. ОМ-7АН8 и др.	Доступность, универсальность	Пожароопасность, токсичность, вредное воздействие на окружающую среду
Ультразвуковой		Все детали, кроме корпусных	ОР-15702 УЗВ-16М и др.	Возможность удаления различных групп и видов загрязнений, очистка деталей различной формы и конфигурации, использование водных растворов экологически безопасных моющих средств, высокая производительность и культура труда	Потребность в квалифицированном обслуживании ультразвукового оборудования, затруднена очистка крупногабаритных корпусных деталей

## **1.5 Механизм удаления загрязнений моющим раствором в ультразвуковом поле**

В диссертации Мачалкина Ю.Н., автором отмечено, что «ультразвук - упругие колебания и волны, частота которых превышает 15...20 кГц. Нижняя граница области ультразвука определяется субъективными свойствами человеческого слуха, а верхняя - физической природой упругих волн, которые могут распространяться лишь в материальной среде, при условии, что длина волны значительно больше длины свободного пробега молекул в газах или межатомных расстояний в жидкостях и твердых телах. Ультразвуковые волны применяются как в научных исследованиях для изучения строения и свойств веществ, так и для решения самых разнообразных технических задач, в том числе, для удаления различных загрязнений» [60, с. 17].

Основным фактором очищающего воздействия ультразвука является явление кавитации.

Кавитация - это процесс образования в жидкости пузырьков (каверн, полостей), заполненных газом, паром или их смесью, и их последующего захлопывания. Кавитационные пузырьки образуются в результате сильного локального понижения давления в жидкости и захлопываются в результате его повышения [17, 31, 93, 106].

Различают гидродинамическую и акустическую кавитацию. Гидродинамическая кавитация возникает в результате понижения давления в потоке жидкости, которое происходит при резком увеличении скорости потока.

Гидродинамическая кавитация осуществляется за счет устройств, преобразующих часть энергии турбулентной струи моющей жидкости в энергию акустических колебаний.

Акустическая кавитация возникает в результате понижения давления в жидкости, которое происходит при прохождении в жидкости высокоинтенсивной звуковой волны во время полупериода разрежения. Перемещаясь с потоком в область с повышенным давлением (в случае гидродинамической кавитации) или

во время полупериода сжатия (в случае акустической кавитации), пузырьки захлопываются.

Акустико-кавитационная очистка осуществляется с помощью ультразвукового моечно-очистного оборудования, основными узлами которого являются ультразвуковой генератор, предназначенный для преобразования тока промышленной частоты в ток ультразвуковой частоты, и ультразвуковая колебательная система, обеспечивающая преобразование энергии электрических колебаний, поступающих от генератора, в энергию механических колебаний, усиление сформированных механических колебаний и их ввод в моющую жидкость [17, 93, 106]. Непосредственно очистка проводится в рабочей емкости, заполняемой моющей жидкостью. Различают два типа ультразвукового (УЗ) моечно-очистного оборудования: УЗ ванны и погружные УЗ излучатели. Погружной УЗ излучатель, в отличие от УЗ ванны, не содержит в штатном комплекте специальной рабочей емкости, в процессе работы его погружают в любую подходящую емкость с моющей жидкостью. Различают модульные погружные излучатели и излучатели с погружными волноводами-концентраторами.

Пузырьки образуются в тех местах, где давление в жидкости оказывается ниже некоторого критического значения, соответствующего порогу кавитации [17]. Для спонтанного образования пузырьков в идеальной однородно чистой жидкости требуются большие растягивающие напряжения. В реальных условиях разрывы сплошности жидкости происходят при давлениях, которые лишь немного меньше давления насыщенного пара при данной температуре, что объясняется наличием зародышей кавитации - микроскопических газовых пузырьков, присутствующих в объеме жидкости или в трещинах и порах на поверхности твердых тел (частиц), находящихся в жидкости. Эти зародыши, оказавшись в области пониженного давления, теряют свою устойчивость и начинают быстро расти в размерах. Их расширение обусловлено диффузией газа из жидкости в пузырек и испарением жидкости в пузырек, а также коагуляцией зародышей.

Процесс ультразвуковой очистки обусловлен рядом гидродинамических явлений, возникающих в ультразвуковом поле значительной интенсивности: кавитацией, акустическими течениями, радиационным давлением и др. [60, 49, 66]. Эффективность очистки зависит от параметров звукового поля,

определяемого источниками акустической энергии - частоты и амплитуды колебаний, интенсивности звука, звукового давления и от физико-химических свойств моющей жидкости - вязкости, упругости насыщенного пара, поверхностного натяжения, плотности, газосодержания. Выбор параметров звукового поля и жидкостей с определенными свойствами позволяет управлять явлениями, обуславливающими ультразвуковую очистку [17]. На эффективность очистки влияют также температура и концентрация моющего раствора. В процессе очистки происходит разрушение поверхностных пленок загрязнений, отслаивание и удаление загрязнений их эмульгирование и растворение. Схемы функциональных составляющих процесса очистки и разрушения загрязнений моющим раствором в ультразвуковом поле показаны на рисунках 1.8 и 1.9.

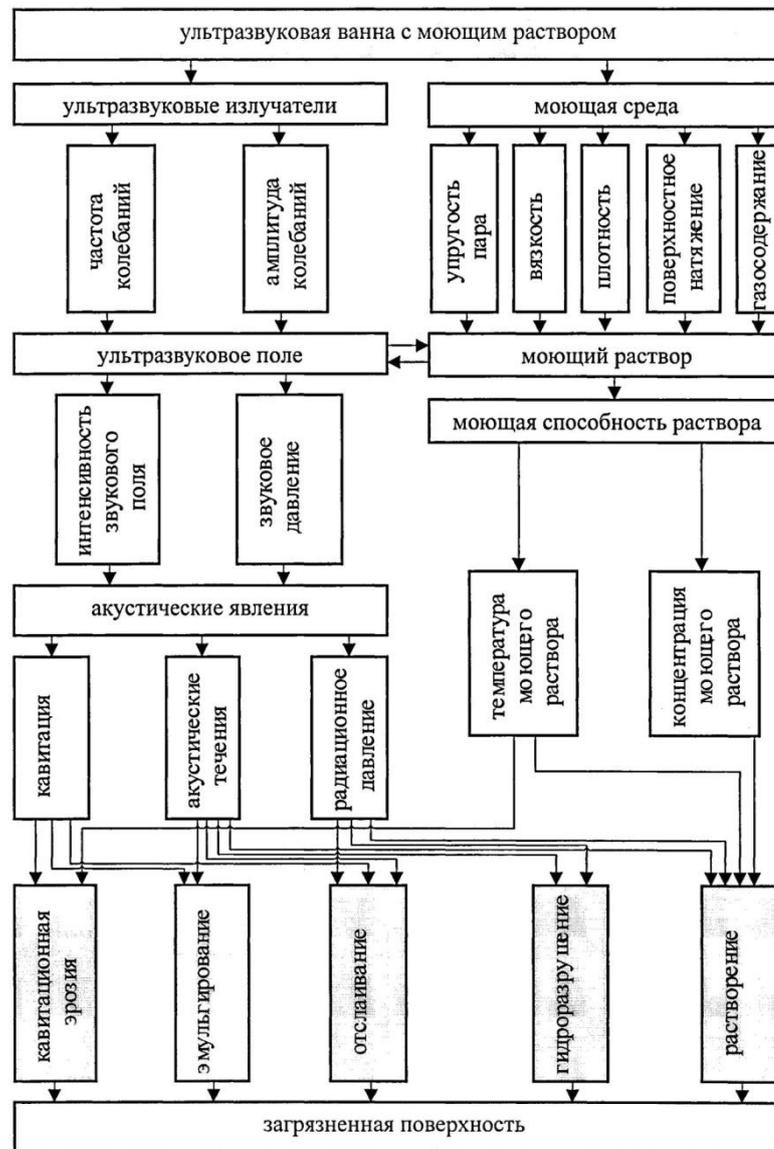


Рисунок 1.8 – Схема функциональных составляющих процесса очистки моющим раствором в ультразвуковом поле



Рисунок 1.9 – Схема разрушения загрязнений моющим раствором в ультразвуковом поле: О и О - кавитационные захлопывающиеся и пульсирующие пузырьки; ->- направление действия основных составляющих сил процесса очистки

## **1.6 Постановка цели и задач исследования**

Проведенный анализ причин загрязнений систем топливной аппаратуры двигателей с распределенным впрыском топлива и особенностей эксплуатации позволяет сформулировать цель и задачи данной работы.

**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.

## **1.7 Выводы по первой главе**

Выполнен научный анализ процессов загрязнения и последствий износа элементов электромагнитной форсунки, выявлено их влияние на работу автомобильного бензинового двигателя. 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.

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ РАСПЫЛИТЕЛЯ ФОРСУНКИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

### 2.1 Математическая модель объекта моделирования

Математическую модель обычно представляют схемой (рисунок 2.1):

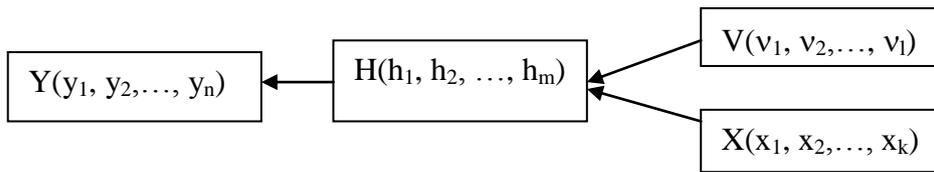


Рисунок 2.1 – Схема математической модели

Прямоугольником обозначен объект (процесс) моделирования,  $X(x_1, x_2, \dots, x_k)$  — множество внешних воздействий на моделируемый объект,  $V(v_1, v_2, \dots, v_1)$  — множество воздействий внешней среды,  $H(h_1, h_2, \dots, h_m)$  — множество внутренних состояний объекта,  $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$  — множество выходных параметров моделируемого объекта. Множество внешних воздействий  $X(x_1, x_2, \dots, x_k)$  содержит управляемые параметры. В общем случае все множества  $X, Y, V, H$  могут содержать как детерминированные, так и стохастические переменные. Рассматривают эти множества как некоторые формальные векторы  $\vec{X}, \vec{V}, \vec{H}, \vec{Y}$ . В равенстве  $Y = F(\vec{X}, \vec{V}, \vec{H}, \vec{Y}, t)$  параметр  $t$  — время. Параметр  $F$  — некоторый оператор, определение структуры которого является целью моделирования. Равенство  $Y = F(\vec{X}, \vec{V}, \vec{H}, \vec{Y}, t)$  — формальная математическая модель (динамическая модель). Если в равенстве отсутствует  $t$ , то модель называется статической. Структура оператора  $F$  может быть аналитической, численной или статистической. Поэтому математические модели делят на аналитические, численные и статистические модели [60, 40, 48, 63].

## 2.2 Схема создания математической модели

Математическая модель создается на основе содержательной модели, которая отражает существенные свойства моделируемого объекта или процесса и содержит описание входных параметров (управляемых или стохастических), внутренних параметров и выходных параметров. Создание математической модели происходит путем формализации содержательной модели в виде уравнений, систем уравнений различных видов, неравенств или отношений [40, 48, 63]. Работа с созданной моделью содержит:

1) качественный анализ модели с целью разработки методов решения или возможных упрощений, а также тестирования для частных случаев с использованием точных решений;

2) обоснование выбора конкретного алгоритма для получения количественных результатов, в том числе обязательно оценку точности вычислительного метода. Реализация выбранных численных методов требует использование компьютерных программ, таких как MathCAD, Mathematica. Наличие конкретных компьютерных программ делает возможным проведение вычислительного эксперимента, целью которого является проверка адекватности данной модели и получение дополнительной информации [2, 25, 32, 33, 65].

## 2.3 Типовые математические схемы моделирования

К типовым математическим схемам моделирования относятся:

1) непрерывно-детерминированные  $D$ -схемы. Эти схемы применяются для описания различных моделей в теории управления. Математической моделью является задача Коши для обыкновенного дифференциального уравнения или системы обыкновенных дифференциальных уравнений, а также уравнений в частных производных с различными начальными и краевыми условиями. В моделях оптимального управления и некоторых других моделях оптимизации

решения находятся при ограничениях на функции, которые имеют линейный, нелинейный или дифференциальный характер;

2) дискретно-детерминированные  $F$ -схемы (конечные автоматы). С помощью этих схем описываются модели устройств контроля и управления, имеющие дискретный характер работы во времени. Математическая модель состоит из задания начального состояния автомата и из уравнений, задающих значения выходных параметров в данный момент времени в зависимости от значений входных параметров и внутренних состояний в данный или предшествующий моменты. Вместо уравнений могут быть использованы таблицы или графы;

3) стохастические модели. В стохастических моделях все или часть переменных множеств  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  являются случайными величинами. Модели регрессионного типа, имеющие большое значение при статистическом анализе наблюдений и непрерывно-стохастические модели ( $Q$ -схемы), которые применяются для описания систем массового обслуживания [2, 60, 40, 48, 63].

## 2.4 Регрессионные модели

Регрессионные модели используются при статистическом анализе результатов эксперимента. Обычно такого типа опыты проводятся при одной или нескольких непрерывных управляемых переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (входные сигналы) и одной измеряемой случайной величины  $y$  (выходной сигнал). Регрессионные модели предлагают функциональные зависимости  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , которые выводятся из определенных принципов оптимальности и используются для прогнозирования значений  $y$  при тех значениях  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которые трудно задать или при которых измерения  $y$  трудно осуществимы или вообще невозможны. Регрессионные модели обобщают и на случаи, когда входные переменные также являются случайными переменными [2, 60, 40, 48, 63].

## 2.5 Регрессионный анализ погрешности измерения производительности форсунок в зависимости от пробега автомобиля

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 [55, 69, 88, 89, 118, 119, 122, 124, 125, 126, 127].

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

$$\Delta p_{T,0}^* = p_{T,0}^* - p_K^*, \quad (2.1)$$

где:  $p_{T,0}^*$ ,  $p_K^*$  - абсолютные полные значения давления топлива перед форсункой и в камере сгорания, Н/м<sup>2</sup>.

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

Расходные характеристики форсунки — это зависимость общего расхода топлива - массового  $G_T$ , кг/с или объемного  $Q_T$ , м<sup>3</sup>/с от величины перепада давления топлива  $\Delta p_{T,0}^*$  в форсунке.

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

Расходно-геометрические характеристики струй или факелов распыла - это зависимость некоторого параметра, 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  $\Delta S$  или плотности орошения  $q = \Delta G_T(x, y) / \Delta S$ , (г/с)/см<sup>2</sup> от геометрических, режимных параметров работы форсунки.

Дисперсные характеристики - 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  $f(d_k)$  [69, 55, 118, 119, 122, 125, 126, 127].

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

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

$$G_{T.t} = \rho_T \cdot w_t \cdot F_c, \quad (2.2)$$

где:  $\rho_T$  - плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;

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

(это скорость в плоскости выходного сечения сопла);

$F_c$  - площадь выходного поперечного сечения канала сопла, м<sup>2</sup>.

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:

$$p_{T.0}^* = p_{T.0} + \rho \cdot \frac{w_t^2}{2g}, \quad (2.3)$$

где:  $p_{T.0}$  - давление топлива в потоке жидкости перед форсункой, Н/м<sup>2</sup>;

Из уравнения (2.3) в предположении равенства давления в потоке на срезе сопла  $p_{T.0}$  давлению газа в камере сгорания  $p_K^*$  получим теоретическую скорость истечения топлива  $w_t$ :

$$w_t = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T.0}^*}{\rho_T}}, \quad (2.4)$$

После подстановки этого выражения для  $w_t$  - в формулу для расхода топлива (2.2) получим:

$$G_{T.t} = F_c \cdot \rho_T \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T.0}^*}{\rho_T}} = (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T.0}^*}, \quad (2.5)$$

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  $G_T$ :

$$G_T = \mu \cdot G_{T.t} = \mu \cdot (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T.0}^*}, \quad (2.6)$$

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

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

Однако, в уравнении расхода топлива через форсунку (2.6), 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 ( $\Delta q_{cp}$ ) 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.

Анализ представленных в таблице 2.1. данных проведен с использованием табличного процессора *Microsoft Office Excel u Statistika 10* [27, 64, 116].

Таблица 2.1 – Среднее отклонение значений расхода топлива ( $\Delta q_{cp}$ ) в зависимости от пробега  $L$  ( $x_i$ )

Параметр	$L$ ( $x_i$ ), км					
	20 000	40 000	60 000	80 000	100 000	120 000
$\Delta q_{cp}$ , (у <sub>i</sub> ), мл·мин <sup>-1</sup> (ДО ОЧИСТКИ УЗ)	1.2	1.3	1.6	2.0	2.3	3.5
$\Delta q_{cp}$ , мл·мин <sup>-1</sup> (ПОСЛЕ ОЧИСТКИ УЗ)	1.1	1.2	1.4	1.7	1.8	2.0

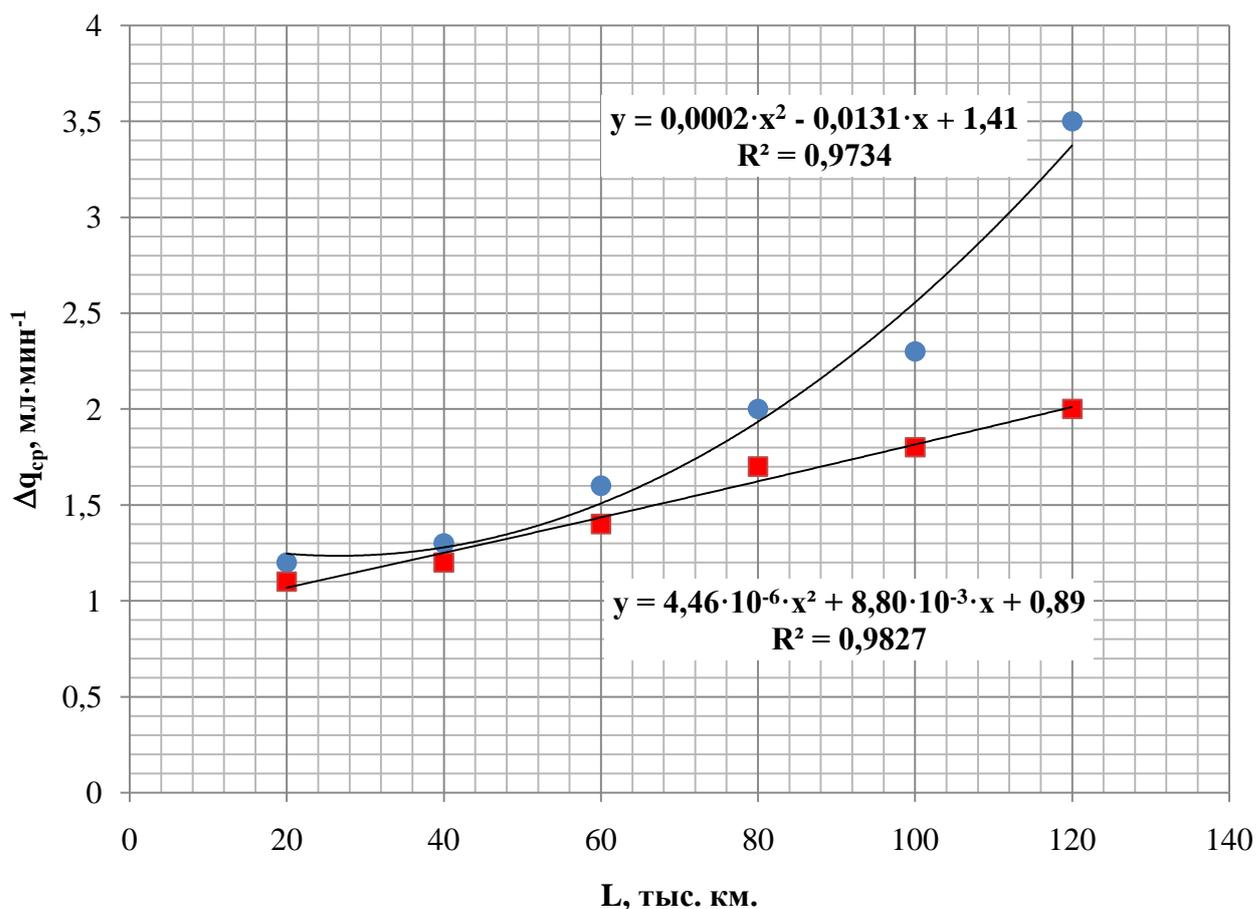


Рисунок 2.2 – Среднее отклонение значений расхода топлива ( $\Delta q_{cp}$ ) в зависимости от пробега ( $L$ ): ● - до очистки ультразвуком; ■ - после очистки ультразвуком

По результатам обработки статистических данных, проведена аппроксимация полученных значений до очистки ультразвуком с целью определения характера зависимостей (рисунки 2.3 - 2.6).

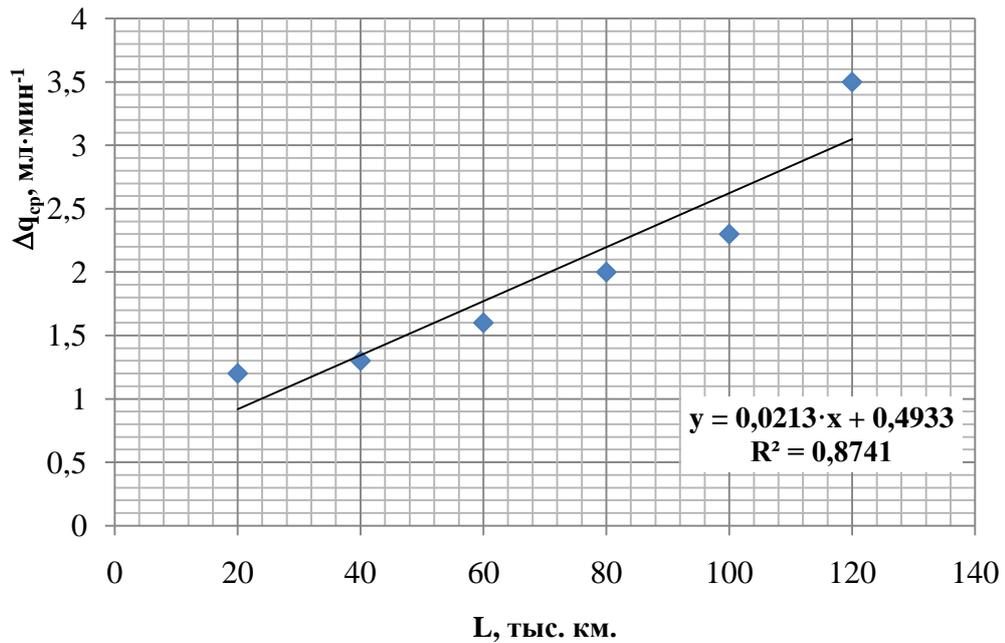


Рисунок 2.3 – Линейная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива ( $\Delta q_{\text{ср}}$ ) в зависимости от пробега ( $L$ )

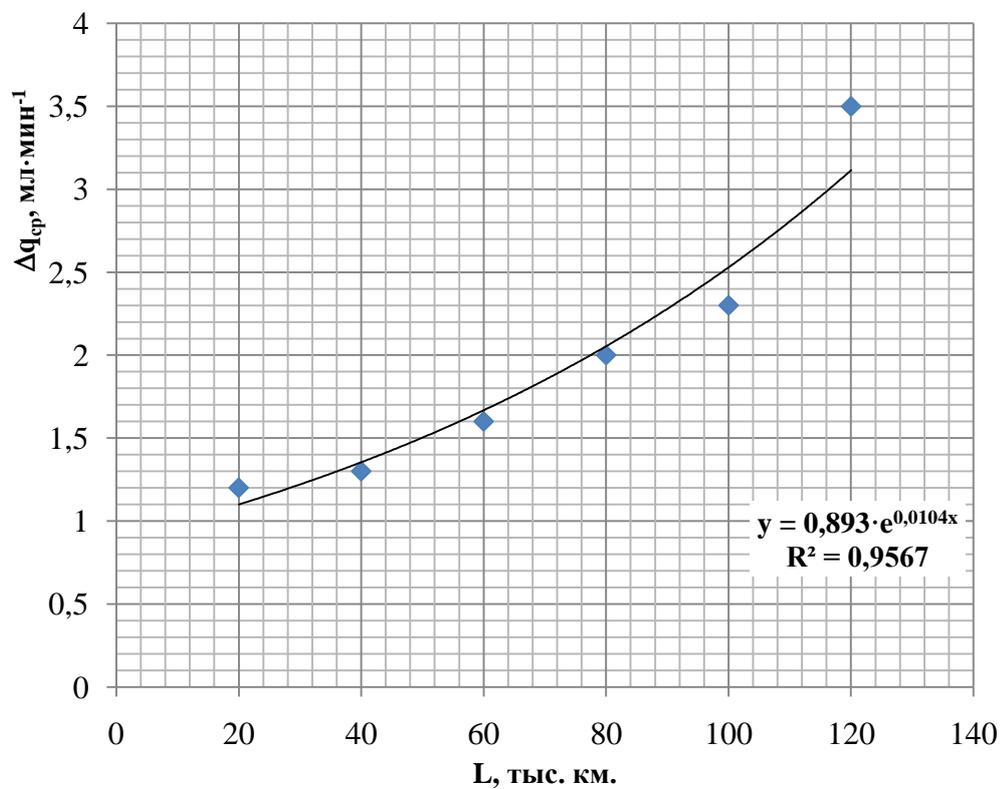


Рисунок 2.4 – Экспоненциальная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива ( $\Delta q_{\text{ср}}$ ) в зависимости от пробега ( $L$ )

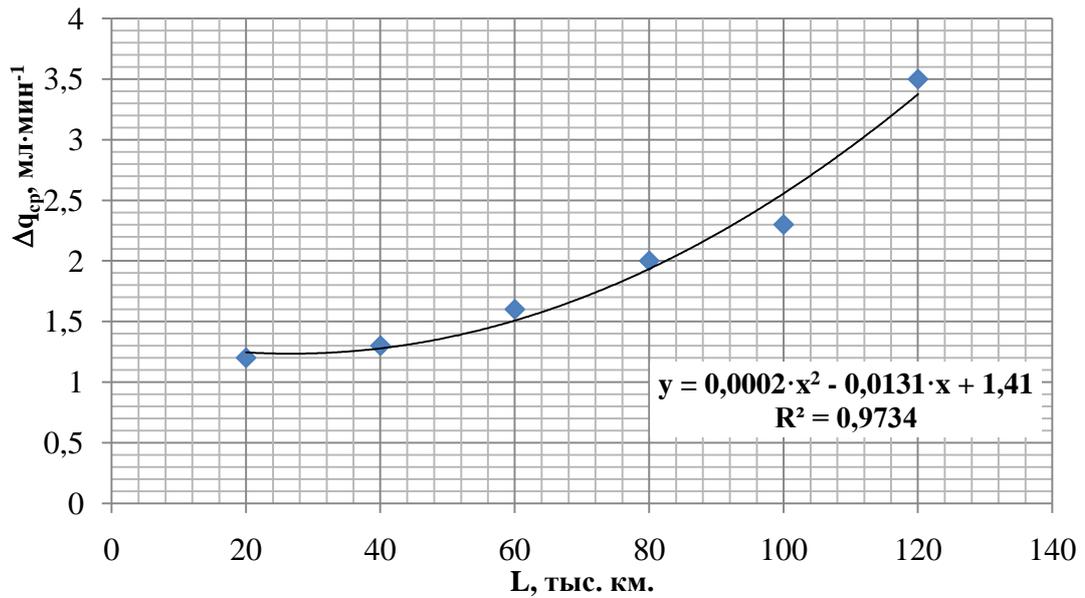


Рисунок 2.5 – Полиномиальная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива ( $\Delta q_{\text{ср}}$ ) в зависимости от пробега ( $L$ )

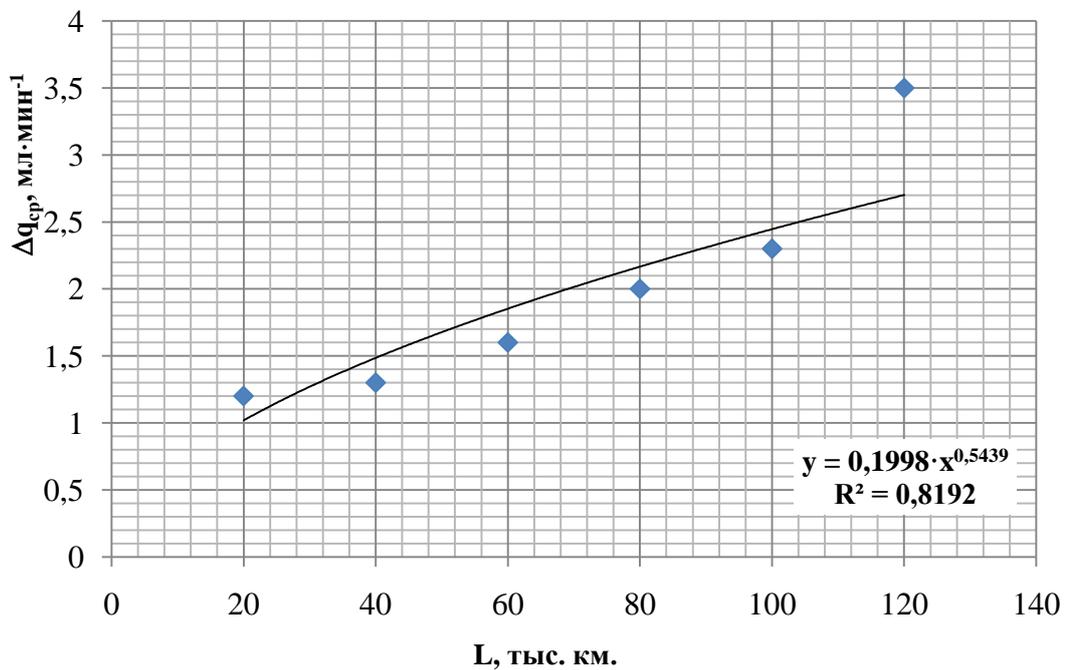


Рисунок 2.6 – Степенная аппроксимация данных среднего отклонения значений расхода топлива ( $\Delta q_{\text{ср}}$ ) в зависимости от пробега ( $L$ )

Из сопоставления значений коэффициентов детерминации (таблица 2.2) 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  $\Delta q_{\text{ср}}$  от пробега автомобиля ( $L$ ). Регрессия в виде квадратичного уравнения нелинейная относительно объясняющих переменных и линейная относительно параметров модели. Поэтому оценки метода наименьших квадратов преобразованной линейной модели, полученные при помощи функции «Регрессия» табличного процессора *Microsoft Office Excel*, являются оценками параметров нелинейной модели.

Таблица 2.2 – Уравнения полученных построением линии тренда регрессий и коэффициенты детерминации ( $R^2$ )

№ п/п	Уравнение		$R^2$
1	Линейная аппроксимация	$y = 0,0213 \cdot x + 0,4933$	0.8741
		$y = 2 \cdot 10^{-5} \cdot x + 0,4933$	0.8741
2	Экспоненциальная аппроксимация	$y = 0,893 \cdot e^{0,0104 \cdot x}$	0.9567
		$y = 0,893 \cdot e^{1 \cdot 10^{-(5)} \cdot x}$	0.9567
3	Полиномиальная аппроксимация	$y = 0,0002 \cdot x^2 - 0,0131 \cdot x + 1,41$	0.9734
		$y = 2 \cdot 10^{-10} \cdot x^2 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1,41$	0.9734
4	Степенная аппроксимация	$y = 0,1998 \cdot x^{0,5439}$	0.8192
		$y = 0,0047 \cdot x^{0,5439}$	0.8192

Для оценки возможности практического использования полиномиального уравнения необходимо проверить его на адекватность при помощи критерия Фишера, а также оценить точность математической модели. Критерием статистической значимости (адекватности) уравнений регрессии является условие, при котором  $F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$ . Точность математической модели оценивают по величине средней относительной ошибки аппроксимации  $\bar{A}$ . Высокая точность

математической модели характеризуется значениями  $\bar{A}$  ниже 10% (таблица 2.3). Прогностическое качество модели оценивают индексом корреляции  $\eta$ .

Расчет средней ошибки аппроксимации проведен по формуле:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%, \quad (2.7)$$

Индекс корреляции вычислен из соотношения:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.8)$$

Табличное значение критерия Фишера (критическое значение  $F_{крит}$ ) определено с помощью встроенной функции *Excel* «FРАСПОБР» при уровне значимости 0.05.

В представленных формулах для расчета ошибки аппроксимации, индекса корреляции  $\hat{y}$  - теоретическое (расчетное, предсказанное) значение  $\Delta q_{ср}$ ;  $y_i$  - текущий параметр  $\Delta q_{ср}$ ;  $\bar{y}$  - средняя величина  $\Delta q_{ср}$ ;  $n$  - число наблюдений.

Таблица 2.3 – Характеристика полиномиальной регрессионной модели

Регрессия	$\bar{A}$ , %	$\eta$	$F_{расч}^*$	$F_{крит}$	$\hat{R}^{2*}$
Полиномиальная	6.03	0.97	27.77	9.55	0.84

\* -  $F_{расч}$ ,  $\hat{R}^2$  получены с помощью функции «Регрессия» табличного процессора *Microsoft Office Excel*.

Полиномиальная модель (квадратичное уравнение) статистически значима, обладает высокой точностью а, следовательно, полностью отражает реальную зависимость среднего отклонения от пробега автомобиля. Значение  $\eta$  близко к 1, т. е. квадратичная связь между средними величинами отклонений расхода и

пробегом автомобиля сильная, 84% значений  $\Delta q_{\text{ср}}$  обусловлено влиянием пробега автомобиля, оставшиеся 16 % данных зависят от других, не включенных в модель, факторов.

Расчетные значения критерия Фишера больше его критического значения. Следовательно, уравнение регрессии адекватно. В результате подстановки этого полиномиального выражения в формулу (2.6) нами получено уравнение среднего значения расхода топлива (2.9) от пробега:

$$G_T = \mu \cdot (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T,0}^*} \cdot (0,0002 \cdot x^2 - 0,0131 \cdot x + 1,41) \quad (2.9)$$

## 2.6 Выводы по второй главе

1. Аналитически обоснована зависимость расхода топлива от пробега при загрязнении сопловых отверстий ЭМФ, характеризующая техническое состояние современных двигателей внутреннего сгорания.

2. С увеличением наработки при загрязнении сопловых отверстий ЭМФ увеличивается отклонение расхода топлива до 25,2 %. Получено полиномиальное уравнение среднего значения расхода топлива (2.9) от пробега.

3. Получено уравнение, описывающее расход топлива через форсунку при учете изменения среднего отклонения значений расхода топлива с учетом загрязнений сопловых отверстий и пробега.

## ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Задачи исследования

Для оценки влияния ультразвуковой очистки ЭМФ на улучшение энергетических и экологических показателей двигателей в процессе эксплуатации был проведен ряд экспериментов на метрологически поверенном оборудовании. Измерения осуществлялись до и после ультразвуковой очистки ЭМФ:

- для оценки извлечения поверхностных загрязнений с элементов форсунки использовали прибор Reanimator Injector Reanimator v 2.0 (Реаниматор форсунок);

- для оценки технического состояния ЭМФ использовали установку «НР-6В» фирмы АЕ&Т;

- для очистки топливных форсунок использовали ультразвуковую ванну «Ultrasonic Cleaner» фирмы АЕ&Т;

- для подтверждения факта износа элементов форсунки и их загрязнения был проведен анализ фотографий распылителей форсунок, полученных с помощью цифрового микроскопа Levenhuk DTX 90;

- сравнительные испытания энергетических характеристик двигателя ЗМЗ-4062.10 автомобиля Газель 27040V «Фермер» с комплектом форсунок до и после ультразвуковой очистки, проводились на роликовом мощностном стенде CARTEC LPS 2510 для одной ведущей оси;

- для оценки экологических показателей использовался газоанализатор Инфракар М2Т.

Объектами исследования были ЭМФ бензиновых двигателей с распределенным впрыском топлива SIMENS DEKA ZMZ 6354. Форсунки эксплуатировались в силовых агрегатах автомобилей ГАЗ-27040 V (Газель «Фермер»). Испытания проводили на 150 комплектах форсунок (в каждом комплекте 4 форсунки), снятых с двигателей автомобилей с пробегом от 0 до 170 тыс. км.

### 3.2 Методика оценки очистки поверхностных загрязнений с элементов форсунки

Известно [68, 70, 85, 108], что изменения рабочих параметров форсунок оказывают влияние на качество распыла топлива и, в конечном счёте – на энергетические и экологические показатели двигателя, его пусковые качества и динамику транспортного средства.

Для оценки очистки поверхностных загрязнений с внутренних и внешних элементов форсунки была разработана лабораторная установка с использованием прибора Reanimator Injector v 2.0 (Реаниматор форсунок) (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Прибор Reanimator Injector v 2.0 (Реаниматор форсунок)

Реаниматор форсунок позволяет проверить производительность форсунок в режиме «Проверка», а в режиме «Очистка» извлечь загрязнения в находящуюся в контакте с форсункой жидкость. Технические характеристики прибора представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики прибора Reanimator Injector v 2.0

Количество импульсов открытия форсунок	10 - 2550
Время открытия форсунок	1,5 - 9,9 мс
Временной интервал между импульсами	10 - 100 мс

В режиме "Проверка" на форсунки подаются одинаковые управляющие импульсы (обмотки всех форсунок подключены параллельно). В режиме "Очистка" программное обеспечение автоматически определяет резонансную частоту иглы форсунки. В этом режиме работы, после "захвата" производится девиация этой частоты в небольшом диапазоне. В таком режиме форсунка, опущенная в чистящий раствор, начинает прокачивать чистящую жидкость в обратном направлении. Это способствует интенсивному взаимодействию химического очистителя с загрязнениями внутри форсунки.

Поскольку конструкция современной электромагнитной форсунки является неразборной, то для доступа к ее проточной части и исследованию на предмет загрязнений нужно использовать режущий инструмент, что в конечном итоге приведет в негодность форсунку. Поэтому была разработана лабораторная установка, которая позволяет оценить степень перехода в жидкую фазу смолистых, лаковых и нагарных отложений не применяя при этом никакого режущего инструмента.

Заводы-изготовители ДВС в инструкциях по эксплуатации не регламентируют необходимость контроля производительности форсунок через определённые значения их пробега (наработки), так как на всех АТС предусмотрены топливные фильтры, которые, по замыслу изготовителя, должны защищать сопловые отверстия от загрязнений. Однако фильтры, как показывает практика, не дают полной защиты от загрязнения проточной части форсунок. Поэтому для проверки присутствия в сопловых отверстиях загрязнений проточной части форсунок были проведены стендовые испытания ЭМФ на установке АЕ&Т «НР-6В».

Оценивалось техническое состояние топливных форсунок SIEMENS DEKA ZMZ 6354, имеющих наработку 80...100 тыс. км пробега. При этом частота  $\nu$  срабатывания форсунок (импульсов, подаваемых на обмотку) и продолжительность  $\tau$  подачи топлива зависели только от имитируемого режима работы двигателя, которых было три: на холостом ходу, максимальной нагрузке и высоких скоростях движения автомобиля. В первом случае значения этих величин были равны  $\nu = 650 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\tau = 3 \text{ мс}$ ; во втором –  $\nu = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\tau = 12 \text{ мс}$ ; в третьем –  $\nu = 3600 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\tau = 6 \text{ мс}$  [53]. Каждая из форсунок испытывалась дважды – в исходном состоянии и после очистки от загрязнений. При такой организации испытаний очистка включала два этапа: промывку в растворе, состоящем из воды, этанола и поверхностно активных веществ, и собственно очистку с помощью подачи ультразвуковых импульсов.

Процесс промывок был предельно простым: форсунки помещали в химический стакан, заполненный 20 мл промывочного раствора так, чтобы при перемешивании магнитной мешалкой омывалась только нижняя часть устройства (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Общая схема лабораторной установки

Затем включался Реаниматор форсунок, который подавал на форсунку рабочие импульсы. Причём делалось это дважды: сначала в течение 30 с, затем ещё в течение 1 мин. После каждого такого воздействия форсунку оставляли не выключая перемешивания на 10 мин. в химическом стакане и далее измеряли водородный показатель рН и электропроводность  $\sigma$  жидкой фазы (рисунок 3.3). Как оказалось, рН ( $7.5 \pm 0.1$ ) жидкой фазы в процессе промывки форсунок не изменяется, а электропроводность растёт. Однако такой рост  $\sigma$  связан не с процессом промывки, а с сопровождающим его испарением одного из компонентов раствора из-за больших перерывов между промывками очередных форсунок. Так что данный недостаток легко устранить.



а)



б)

Рисунок 3.3 – Измерение водородного показателя рН (а) и электропроводности  $\sigma$  жидкой фазы (б)

Из сопоставления данных таблицы 3.2 следует, что производительность форсунок после их ультразвуковой обработки в большинстве случаев превосходит производительность до воздействия на них ультразвука. Это свидетельствует о необходимости проведения такой процедуры обслуживания топливных форсунок [83].

Таблица 3.2 – Производительность форсунок (Ф) SIEMENS DEKA ZMZ 6354 при различных режимах испытания

Состояние форсунки	Производительность форсунок, см <sup>3</sup> ·мин <sup>-1</sup>							
	на режиме №2				на режиме №3			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
До очистки	100.0	102.0	106.0	106.0	63.9	66.7	69.4	69.4
После УЗ-очистки	106.0	106.0	106.0	106.0	66.7	68.1	69.4	69.4

Таким образом, эксперименты показали: проведение контроля производительности форсунок после определенных их наработок – не только желательно, но и необходимо. Более того, для улучшения энергетических и экологических показателей двигателей, процесса пуска, а также сохранения динамических характеристик транспортных средств контроль и очистку форсунок от загрязнений нужно сочетать с ультразвуковой очисткой. Ультразвуковая очистка способствует наиболее полному избавлению форсунок от загрязнений.

Следовательно, контролировать рабочие параметры форсунок целесообразно после выполнения двух операций: промывки и очистки их ультразвуком. Следует отметить, что разброс значений производительности форсунок весьма низок, всего  $\pm 0,4...1\%$ .

### 3.3 Методика оценки технического состояния форсунок

Техническое состояние устройства впрыска топлива оценивалось с использованием установки АЕ&Т НР-6В (рисунок 3.4) [96]. Данная установка позволяет проверять техническое состояние форсунок, качество распыла с имитацией различных режимов работы двигателя и герметичность форсунок. Технические характеристики установки представлены в таблице 3.3.



Рисунок 3.4 – Установка AE&T «HP-6B» для оценки технического состояния топливных форсунок

Таблица 3.3 – Технические характеристики установки «HP-6B»

1. Размер установки:	56*56*75 см
2. Масса нетто/масса брутто:	42/56 кг
3. Мощность:	220 В перем. тока 50Гц 200 Вт
4. Диапазон давлений:	0~ 90 фунтов на кв. дюйм (6.4 кг/см <sup>2</sup> )
5. Рабочая температура:	-20°C~38°C
6. Кол-во форсунок:	2-6 (Не менее 2 форсунок за раз)
7. Импульсы форсунки (количество):	0-9950 импульсов с шагом 50 импульсов.
8. Рабочая частота форсунки (об/мин):	0-9950 об/мин с шагом 50 об/мин
9. Ширина импульсов форсунки (ИМВ):	0-20 мс с приращением 0.1 мс

В процессе лабораторных исследований оценивались следующие количественные рабочие показатели форсунок до и после ультразвуковой очистки.

Герметичность форсунок проверяли под давлением топлива. У неработающей форсунки, находящейся под давлением, не должно образовываться на носике распылителя и отрываться с нее более одной капли в течение одной минуты.

Статическая и динамическая производительность форсунок определялась в автоматическом и ручном режимах настройки частоты ( $n_\tau$ ), ширины ( $\tau$ ) и числа импульсов ( $N_\tau$ ).

Режим 1 - «Атомизация» (форсунки находятся в постоянно открытом состоянии). На данном режиме проверяется производительность форсунок при их открытии на заданное время, по количеству жидкости в каждом мерном стакане. Проверяется форма распыла факела топлива.

Режим 2 - «Холостой ход». Данный режим имитирует процесс работы тестируемых форсунок на режиме холостого хода:  $n=650 \text{ мин}^{-1}$  («минимум»),  $\tau=3 \text{ мс}$ ,  $N_\tau=2000$  импульсов;

Режим 3 - «Максимальная нагрузка». Данный режим имитирует процесс работы тестируемых форсунок на режиме движения с повышенной нагрузкой на ДВС:  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\tau=12 \text{ мс}$ ,  $N_\tau=1000$  импульсов;

Режим 4 - «Работа при высоких скоростях». Данный режим имитирует процесс работы тестируемых форсунок на режиме движения на повышенной скорости:  $n=3600 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\tau=6 \text{ мс}$ ,  $N_\tau=2000$  импульсов.

Расход  $q_i$  тестовой жидкости при испытании форсунок рассчитывается по формуле:

$$q_i = \frac{Q_t}{t}, \quad (3.1)$$

где  $Q_t$  - объем топлива за время измерения  $t$ , мл;  $t$  - время измерения, мин.

Среднее отклонение значений расхода топлива ( $\Delta q_{cp}$ ) определялось как сумма средних значений погрешностей измерений каждого режима, деленных на количество режимов:

$$\Delta q_{cp} = \frac{\sum \Delta q_i}{n}, \quad (3.2)$$

где  $\sum \Delta q_i$  - сумма погрешностей среднего арифметического расхода тестовой жидкости всех режимов, мл·мин<sup>-1</sup>; n- число режимов.

В качестве результата, в таблице 3.4 приведены следующие количественные рабочие показатели форсунок до очистки, полученные на установке «НР-6В».

Таблица 3.4 – Количественные рабочие показатели форсунок SIMENS DEKA ZMZ 6354 до очистки, полученные на установке «НР-6В»

Пробег 40 тыс. км. Siemens DEKA ZMZ 6354	Стат. производ. в мл/мин	Динам. производительность в мл/мин		
		Режим 1 650 об/мин	Режим 2 2400 об/мин	Режим 3 3600 об/мин
Форсунка 1	126,8	13	91,7	83,3
Форсунка 2	125,6	12,7	90	81,9
Форсунка 3	125,6	13	90	84,7
Форсунка 4	126,8	13	91,7	84,7
<b>Ср. знач:</b>	126,2	12,925	90,85	83,65
<b>Стандартное отклонение:</b>	0,69	0,15	0,98	1,34
<b>Коэф. Стьюдента (t):</b>	3,182446305	3,1824463	3,182446305	3,182446305
<b>Абсолютная погрешность (доверительный интервал):</b>	1,10	0,24	1,56	2,13
<b>Среднее отклонение значений расхода топлива мл/мин</b>				
1,26				

В результате проведенных исследований установлено, что расход топлива для форсунок, снятых с автомобилей с разным пробегом, не может быть обобщающим параметром, по которому следует оценивать техническое состояние устройства от пробега. Это связано с тем, что  $q$  отражает не только, зависящую от наработки, степень загрязнения форсунок, но и разницу в пропускной способности изделия (например, при тестировании форсунок других автомобилей, изначально отличающихся производительностью). Поэтому целесообразно для объектов испытания оценку технического состояния проводить по изменению (отклонению от средней величины) расхода топлива.

Среднее отклонение значений расхода топлива ( $\Delta q_{\text{ср}}$ ) очень важно при оценке работоспособности комплекта форсунок, поскольку с увеличением пробега автомобиля наблюдается рост параметра  $\Delta q_{\text{ср}}$  и это является основной причиной неравномерного поступления топлива в различные цилиндры и отклонений в составах смеси по цилиндрам.

В диссертации Овчинникова Г.В. отмечено, что «система управления двигателем не способна компенсировать возрастающую неравномерность цикловых подач в комплекте форсунок, поскольку она вносит на основе сигнала  $\lambda$ -зонда некоторую общую, усредненную корректирующую поправку для всего комплекта форсунок. Поэтому, чтобы контроллер двигателя мог компенсировать возрастающую неравномерность цикловых подач в комплекте форсунок, в идеале необходимо было бы использование индивидуальных  $\lambda$ -зондов для каждого из цилиндров двигателя» [69, с.119]. Но ввиду высокой стоимости таких датчиков данный способ не находит практического применения.

Исследования на установке АЕ&Т «НР-6В» проводили при давлении топлива в магистрали  $300 \pm 5$  кПа. В процессе проведения измерений, давление топлива контролировалось с помощью встроенного манометра.

В качестве тестирующей жидкости использовали профессиональную жидкость LAVR Ln 2004 (рисунок 3.5) для тестирования бензиновых форсунок на стендах. Данная жидкость обеспечивает точный контроль факела распыла, производительность и герметичность форсунок при использовании её на стендах.

Жидкость имеет эталонные параметры плотности и вязкости, соответствующие ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-2004) «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4)» [22].

Жидкость подходит для тестирования форсунок всех типов: EURO, ASIA, USA, в том числе, в режимах с повышенным давлением и высокой частотой открытия форсунки. Абсолютно безопасна для форсунок, резиновых уплотнителей и оборудования. Не токсична, не имеет выраженного запаха, трудно воспламеняется. Не смешивается с очистителями, не испаряется и максимально долго сохраняет функциональные свойства. В состав жидкости входят алифатические углеводороды, корректор вязкости и краситель.



Рисунок 3.5 – Тестирующая жидкость LVR Ln 2004

### 3.4 Методика очистки форсунок в ультразвуковой ванне

Очистка форсунок проводилась в ультразвуковой ванне в лаборатории эксплуатационных материалов и диагностики топливной аппаратуры департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии РУДН.

Для очистки использовалось следующее оборудование, приборы и материалы:

- ультразвуковая ванна «Ultrasonic Cleaner» (рисунок 3.6);

- установка АЕ&Т «НР-6В» для оценки технического состояния топливных форсунок;

- для удаления смолистых, лаковых и нагарных отложений использовали очищающую профессиональную жидкость LAVR Ln 2003.



Рисунок 3.6 – Ультразвуковая ванна «Ultrasonic Cleaner»

Ультразвуковой генератор промывочной ультразвуковой ванны имеет функцию автоподстройки частоты, функцию стабилизации выходной мощности. Ультразвуковые колебания с частотой до 40 кГц способствуют проникновению моющего раствора через сопло форсунки, а возникающие при этом кавитационные процессы обеспечивают очистку форсунки. Ультразвуковой генератор вызывает колебания в моющем растворе и при этом вокруг сопрягаемых поверхностей внутри топливной форсунки возникают зоны вакуума. Этот вакуум приводит к возникновению пузырьков пара. При разрушении этих пузырьков моющий раствор устремляется в эти зоны и ударяясь о сопрягаемые поверхности, очищает их.

Для формирования электрических импульсов, предназначенных для периодического открывания топливных форсунок при выполнении очистки, использовали установку «НР-6В» для оценки технического состояния топливных форсунок.

Порядок проведения лабораторных экспериментов представлен ниже.

*Действие 1.* Установили рабочие форсунки на подставку в УЗВ (подставка входит в комплект с ванной).

*Действие 2.* Проверили уровень жидкости для очистки деталей – сопло рабочих форсунок должно полностью быть погружено в очищающую жидкость. Если жидкости мало, тогда её следует долить.

*Действие 3.* Подключили питание ко всем форсункам через разъём для питания.

*Действие 4.* Запустили ультразвуковой излучатель за счёт переключения тумблера активации ванны в позицию «включено». Тумблер расположен на задней поверхности корпуса ультразвуковой ванны.

*Действие 5.* Выбрали время для очистки с помощью поворота специального тумблера, расположенного на стенке корпуса ультразвуковой ванны. Период времени для очистки составляет 15 минут.

*Действие 6.* Активировали кнопку «Импульс» с целью передачи управляющего импульса на установленные форсунки. В случае необходимости имеется возможность изменить характеристики управляющего импульса.

*Действие 7.* Активировали кнопку «Старт» в области панели управления ультразвуковой ванной. Таким образом будет задействован обратный временной отсчёт.

*Действие 8.* Дождаться когда значение таймера достигнет нуля. Таким образом, процесс очистки считается законченным. В случае необходимости процесс очистки можно прервать в любой момент времени с помощью кнопки «Стоп» (она расположена на корпусе ультразвуковой ванны), либо с помощью поворота тумблера активации ванны в позицию «выключено».

*Действие 9.* Извлечь форсунки, а затем протереть данные устройства мягкой ветошью с целью устранить остатки жидкости для полной очистки деталей. Далее следует провести продувку с помощью компрессора.

В качестве очищающей жидкости использовали профессиональную жидкость LAVR Ln 2003 (рисунок 3.7) для удаления смолистых, лаковых и

нагарных отложений. Жидкость имеет эталонные параметры плотности и вязкости, соответствующие ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-2004) «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4)» [22].



Рисунок 3.7 – Жидкость для очистки форсунок LAVOR Ln 2003

Подходит для очистки форсунок всех типов: EURO, ASIA, USA. Абсолютна безопасна для форсунок. Не токсична, не имеет выраженного запаха, не воспламеняется. Препятствует возникновению коррозии. В состав жидкости входит: смесь неионогенных и катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) < 5%, тринатрий нитрилотриацетат < 5%, хелатирующие компоненты < 5%, эфиры гликолей 5-15%, регулятор pH < 5%, дистиллированная вода.

### 3.5 Методика исследования элементов проточной части форсунок с помощью цифрового микроскопа и оценка качества очистки

Для подтверждения факта износа и присутствия загрязнений сопловых отверстий форсунок были проанализированы фотографии распылителей, использовался цифровой микроскоп Levenhuk DTX 90 [80, 90, 110].

Форсунок эксплуатировались в силовых агрегатах автомобилей ГАЗ-27040 V (Газель «Фермер»). Исследования проводили на комплекте форсунок (снятых с двигателей автомобилей с пробегом 40 тыс. км), до и после очистки ультразвуком, а так же на комплекте новых форсунок.

Цифровой микроскоп Levenhuk DTX 90 – это современный профессиональный USB-микроскоп для сверхточных работ, оснащенный 5-мегапиксельной камерой. Прибор дает 10-300 кратное увеличение. Комплектуется специальным штативом, основанием с измерительной шкалой и двумя зажимами для закрепления образца (форсунок).

Микроскоп позволяет получать снимки высокого качества и разрешения. Подключается к компьютеру или ноутбуку через стандартный порт USB 2.0. Обработка изображения производится с помощью программы захвата изображения, входящей в стандартную комплектацию.

Параметры микроскопа Levenhuk DTX 90 приведены в таблице 3.5, а его внешний вид представлен на рисунке 3.8.

Таблица 3.5 – Технические характеристики цифрового микроскопа Levenhuk DTX 90

Тип микроскопа:	цифровой
Тип насадки:	цифровой дисплей/монитор ПК
Материал оптики:	оптическое стекло
Увеличение, крат:	10–300
Фокусировка:	ручная, в пределах от 0 мм до 150 мм
Подсветка:	светодиодная
Регулировка яркости:	имеется
Источник питания:	5 В постоянного тока через кабель USB 2.0
Число мегапикселей:	5
Возможность записи видео:	имеется

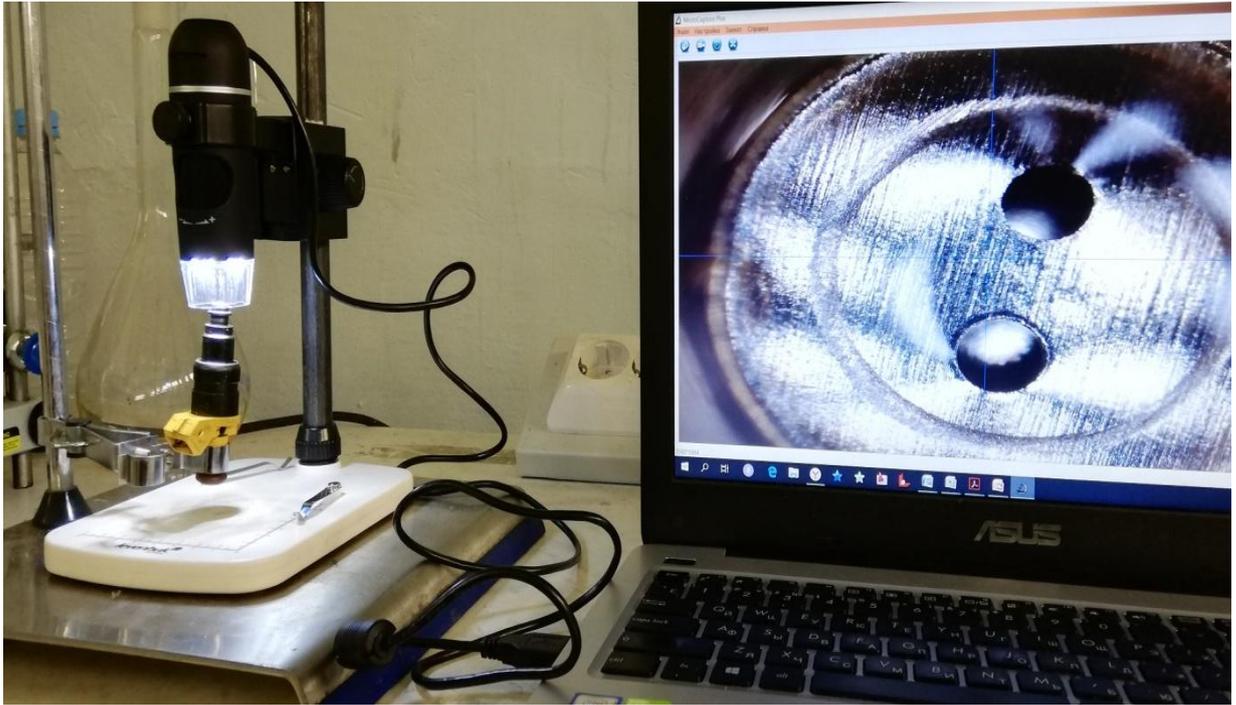
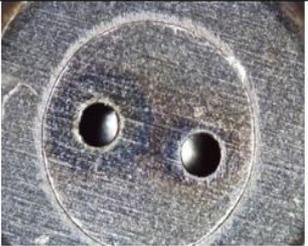
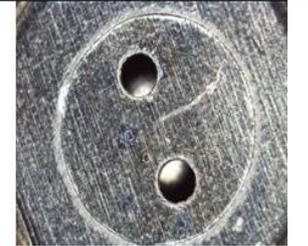
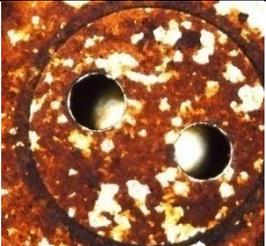
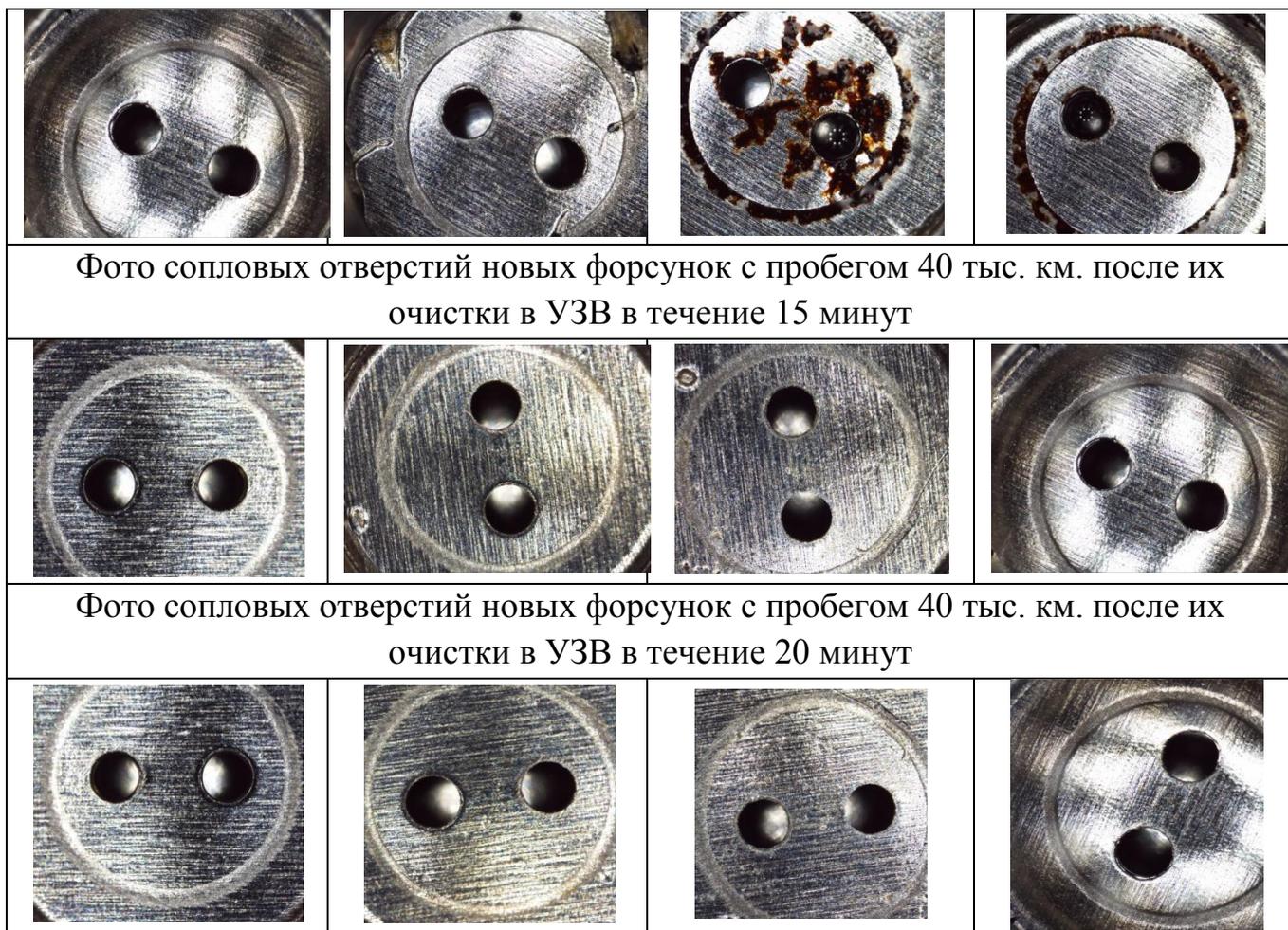


Рисунок 3.8 – Внешний вид цифрового микроскопа Levenhuk DTX 90

С помощью микроскопа была получена серия фотографий сопловых отверстий, наиболее характерные из которых представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Фотографии сопловых отверстий новых форсунок и форсунок с наработкой 40 тыс. км. до и после воздействия ультразвука

Фотографии сопловых отверстий новых форсунок			
			
<p>Фото сопловых отверстий форсунок с пробегом 40 тыс. км до очистки в УЗВ</p>			
			
<p>Фото сопловых отверстий новых форсунок с пробегом 40 тыс. км. после их очистки в УЗВ в течение 10 минут</p>			



Анализ фотографий показал, что для форсунок с наработкой до воздействия на них ультразвука присутствуют загрязнения. Установлено, что размер сопловых отверстий после ультразвуковой обработки больше диаметра сопловых отверстий новых форсунок. Это связано с протекающим в процессе длительной эксплуатации форсунок кавитационным изнашиванием сопловых отверстий. Следствием такого воздействия является изнашивание, выраженное не только в изменении формы и угла выходной фаски сопловых отверстий, но и в изменении формы конуса распыливания. Все это, как показали дальнейшие испытания, нашло отражение в результатах, полученных на мощностном стенде и в данных анализа вредных и токсичных компонентов в отработавших газах.

Следует отметить, что процесс изнашивания описан в диссертации Овчинникова Г.В. [69]. В диссертации показано, что кроме распылителя, износ

наблюдается в месте сопряжения иглы и седла в проточной части форсунки. изнашивается как контактная поверхность самой иглы, так и поверхность седла.

В результате наших исследований было установлено, что износ присутствует не только в месте сопряжения иглы и седла в проточной части форсунки. При этом стоит отметить, что изнашивается как контактная поверхность самой иглы, так и поверхность седла.

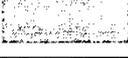
В диссертации Мачалкина Ю.Н. [60], автор считает, что сравнивать чистоту поверхности (до и после очистки) надо с эталоном, так как это позволяет как можно быстрее оценить качество моечно-очистительных работ. Мачалкиным Ю.Н. было выявлено «...что по степени загрязненности характерных зон на игле распылителя можно с достаточной точностью определить загрязненность распылителя в целом и оценить качество очистки. Исходя из этого, разработана методика визуальной оценки степени чистоты поверхностей распылителей форсунок, основанная на высокой разрешающей способности человеческого глаза» [60, с. 82-83].

Кроме предложенной ГОСНИТИ [112] 10-и балльной системы оценки чистоты металлических поверхностей деталей сельскохозяйственной техники существует и 5-и балльная шкала. За балл принимается определенное количество остаточных загрязнений. В пятибалльной шкале 1 балл соответствует наиболее загрязненным поверхностям, на которых должен присутствовать плотный налет черного цвета, чистая поверхность без налета серебристо-серый цвет (цвет металла) оценивается 5 баллами (таблица 3.7).

По результатам проведенных экспериментов проведена оценка по влиянию ультразвуковой очистки на качество очистки распылителей форсунок. Максимально достигаемое качество очистки составило 4,92 балла. При этом общепринятое качество очистки свыше 4,5 балла считается удовлетворительным результатом.

Из таблицы 3.6 видно, что стабилизация (прекращение возрастания) качества очистки наступает после 15 минут процесса воздействия ультразвука в моющей жидкости.

Таблица 3.7 – Эталонная шкала оценки степени загрязненности поверхности распылителя

Вид	Описание	Количество баллов
	Поверхность покрыта сплошным слоем нагара черного цвета	1
	Поверхность покрыта темно-серым слоем нагара, имеются отдельные разрывы темно-коричневого цвета (лакоподобные отложения)	2
	Поверхность покрыта лакоподобными отложениями темно-коричневого цвета с небольшими включениями нагара	3
	Поверхность покрыта тонким слоем лаковых отложений (светлая пленка)	4
	Чистая поверхность серебристо серого цвета (загрязнения не заметны)	5

Исходя из условия минимизации затрат, рациональным сочетанием факторов (режимом очистки) следует считать продолжительность очистки - 15 минут.

### 3.6 Методика оценки энергетических характеристик двигателя на роликовом мощностном стенде CARTEC LPS 2510

Сравнительные испытания проводились на роликовом мощностном стенде CARTEC LPS 2510 с одной ведущей осью [44, 80, 90, 105, 117, 123]. Мощностной стенд смонтирован в лаборатории «Автотракторной техники и сельскохозяйственных машин» департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии РУДН.

Мощностной стенд позволяет моделировать движение транспортного средства и контролировать его динамические характеристики при разных скоростных режимах и нагрузках. Принцип действия стенда основан на измерении мощности двигателя транспортного средства в зависимости от его линейной скорости и тягового усилия, возникающего на ведущих колесах. При движении автотранспортного средства (АТС) на роликах стенда, нагрузка на колеса задается с помощью электродинамических тормозов (ЭДТ). Сигналы с датчика числа оборотов роликов поступают в процессор электронной системы,

где происходит вычисление линейной скорости движения АТС. Одновременно вращение роликов передается на ротор ЭДТ. При этом в обмотке статора ЭДТ наводятся вихревые токи, и соответствующие этим токам электромагнитные силы создают усилие на динамометре, упругий элемент которого связан со статором. Сила воздействия на динамометр служит для определения тягового усилия ведущих колес при заданной скорости движения. При помощи ЭДТ моделируются любые нагрузочные условия при движении автомобиля. Мощность двигателя измеряется косвенным методом, как функция линейной скорости автомобиля и тягового усилия на его ведущих колесах [4, 44, 51, 90].

Роликовый мощностной стенд позволяет оценить: крутящий момент двигателя; мощность двигателя; мощность на ведущих колесах; величину потери мощности в трансмиссии; скорость автомобиля; частоту вращения коленчатого вала двигателя.

Объектом испытаний является автомобиль ГАЗ 27040V «Фермер» (рисунок 3.9) с двигателем ЗМЗ-4062.10, технические характеристики которого представлены в таблице 3.8.



Рисунок 3.9 – Стенд с беговыми барабанами и ГАЗ 27040V «Фермер»

Таблица 3.8 – Технические характеристики двигателя ЗМЗ-4062.10

Количество и расположение цилиндров	4 вертикально в ряд
Рабочий объём, л	2,28
Материал блока / головки цилиндров	Серый чугун / алюминиевый сплав
Диаметр цилиндров, мм	92
Ход поршня, мм	86
Количество клапанов на цилиндр	4
Номинальная мощность брутто при 5200 мин <sup>-1</sup> , кВт (л.с.)	107 (145)
Максимальный крутящий момент брутто при 4000 мин <sup>-1</sup> , Н·м	201
Степень сжатия	9,3
Экологический класс	Евро-2

### 3.6.1 Конструктивные особенности стенда и размещение измерительного оборудования

Мощностной стенд – это испытательная платформа (рисунок 3.10), в которую интегрированы роликовые агрегаты, электродинамический тормоз (рисунок 3.11), пневматическое подъёмное устройство и ограничители бокового смещения. Технические характеристики стенда представлены в таблице 3.9.

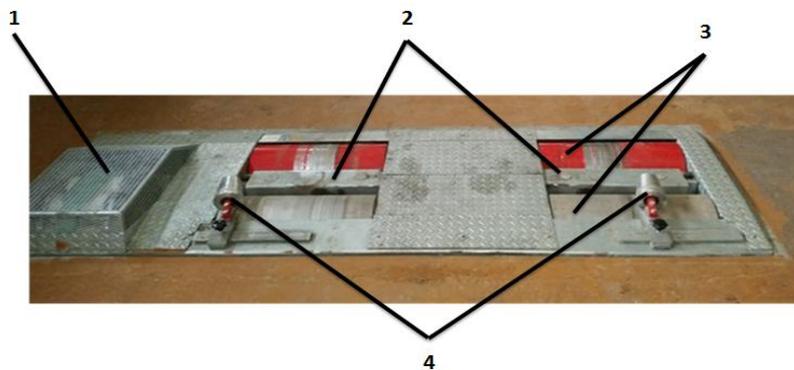


Рисунок 3.10 – Роликовый мощный стенд для легковых автомобилей с одной ведущей осью LPS 2510

1 – электродинамический тормоз; 2 – пневматическое подъёмное устройство; 3 – роликовые агрегаты; 4 – ограничители бокового смещения;

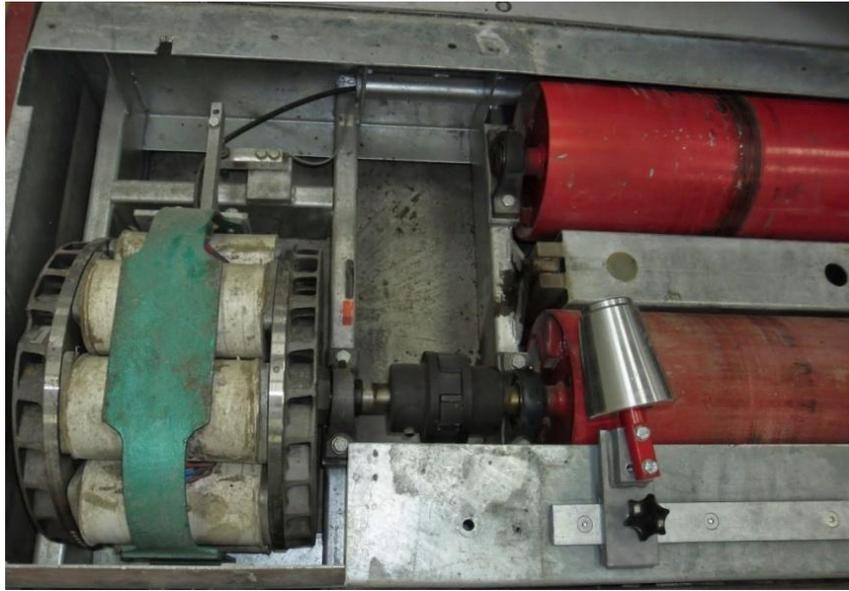


Рисунок 3.11 – Электродинамический тормоз

В состав стенда входят: силовой шкаф, стойка управления с комплектом персонального компьютера (ПК), напольный вентилятор (рисунок 3.12)



Рисунок 3.12. 1 – силовой шкаф; 2 – стойка управления с комплектом ПК; 3 – напольный вентилятор.

В стойке управления установлен блок управления, персональный компьютер (ПК) с программным обеспечением MS WINDOWS. К персональному компьютеру подключен принтер. Управление всеми функциями стенда осуществляется посредством инфракрасного (IR) пульта дистанционного управления или с клавиатуры ПК.

Таблица 3.9 – Технические характеристики стенда CARTEC LPS 2510

Диапазон измерений линейной скорости, км/ч	0 - 260
Пределы относительной погрешности измерений линейной скорости, %	±2
Диапазон измерений тягового усилия, кН	0 - 15
Пределы приведенной погрешности измерений тягового усилия, %	±2
Диапазон измерений эффективной мощности двигателя ТС, кВт	0 - 400
Пределы относительной погрешности измерений эффективной мощности, %	±3
Диаметр роликов, мм	320
Потребляемая мощность, кВА	4
Напряжение питания, В Частота, Гц	от 187 до 242 50±1
Максимально допустимая осевая нагрузка АМТС, т	3,0
Масса стенда, кг	2200
Габаритные размеры, мм - длина - ширина - высота	3310x1150 x854
Питание от сети переменного тока	3x380(+10/-15%) В, с частотой 50Гц
Срок службы, лет	10
Температура окружающего воздуха, °С	0-50
Относительная влажность, не более. %	85

Для регистрации оборотов коленчатого вала двигателя использовали цанговый зажим (рисунок 3.13). Сигнал оборотов снимается с высоковольтного (свечного или центрального) провода цанговым зажимом. Цанговый зажим располагали как можно ближе к свече и как можно дальше от других высоковольтных проводов. Цанговый зажим индуктивно преобразует высоковольтный сигнал, передаваемый от распределителя на цилиндры, в электроимпульсы.

Для определения температуры масла и контроля ее во время проведения измерений использовался температурный датчик. Датчик температуры масла помещался в гнездо масляного щупа, предварительно была отрегулирована длина зонда при помощи передвижного конуса таким образом, чтобы его длина была равна длине масляного щупа (рис. 3.14);



Рисунок 3.13 – Цанговый зажим



Рисунок 3.14 – Регулировка датчика температуры по длине масляного щупа

При проведении испытаний использовалась система удаления выхлопных газов, которая состоит из настенного гибкого местного вытяжного устройства (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Вытяжное устройство для отвода отработавших газов

Программное обеспечение мощностного стенда имеет главную программу и ряд подпрограмм. В зависимости от выбранной подпрограммы, измеренные значения отображаются в графической и (или) табличной форме. Программное обеспечение мощностного стенда позволяет отобразить результаты одновременно до 10 испытаний в разных формах.

При помощи главной программы осуществляется управление подвижной парой роликов, пневматическим подъёмным устройством, вентилятором, а также выполняется переход к подпрограммам (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Главная программа

Измерение максимальной мощности и максимального момента проводили в программе *P-max* и *V-const*.

#### *Настройка подпрограммы P-max.*

Подпрограмма *P-max* обеспечивает измерение ускорения для определения максимальной мощности и максимального момента.

В главной форме программы, выбирается подпрограмма *P-max*, в результате появляется меню настроек испытаний, далее осуществляется настройка испытания (рисунок 3.17).

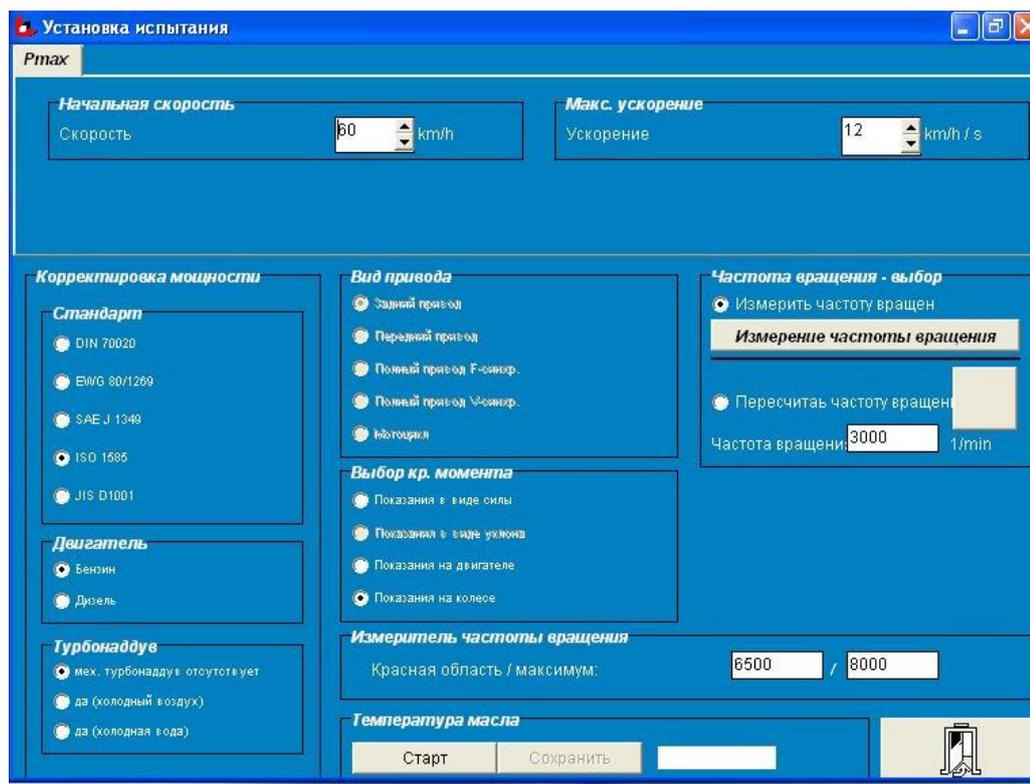


Рисунок 3.17 – Подпрограмма P-max

Выбираются параметры, представленные ниже.

Начальная скорость – скорость, с которой мощностной стенд начнет измерение (стартовая скорость). Начальную скорость (стартовую скорость) необходимо установить на 5-10 км/ч больше, чем скорость при которой будет включена прямая передача. (Пример: если выход на прямую передачу осуществляется при 70 км/ч, то в настройках надо указать 75-80 км/ч).

Максимальное ускорение – устанавливается ускорение, которое будет ограничивать система. Как правило, для легковых автомобилей устанавливается максимальное ускорение в пределах от 10 до 15.

Измеритель частоты вращения – устанавливается красная область/максимум значений оборотов двигателя. Во время проведения испытаний, значения оборотов двигателя не должны превышать установленного предела.

Измерение частоты вращения – нажатием на ярлык, открывается панель, где отображаются обороты коленчатого вала двигателя. Количество оборотов двигателя отобразится в виде цифр и показаний стрелочного индикатора.

Корректное отображение количества оборотов двигателя связано с выбором числа цилиндров двигателя. Отображение количества оборотов прекращается нажатием на ярлык СТОП.

### *Настройка подпрограммы V-const.*

Подпрограмма *V-const* обеспечивает испытания при фиксированной, произвольно заданной скорости.

В режиме *V-const* мощностной стенд управляется таким образом, что скорость движения оставалась постоянной, независимо от тягового усилия (от малого до полного газа), развиваемого автомобилем. Это имитация движения автомобиля со скоростью, не превышающей заданное значение. С нажатием на педаль «газа» увеличивается только эффективность ЭДТ стенда, но не скорость автомобиля.

В главной форме программы, выбирается подпрограмма *V-const*, в результате появляется меню настроек испытаний, где осуществляется настройки испытания (рисунок 3.18).

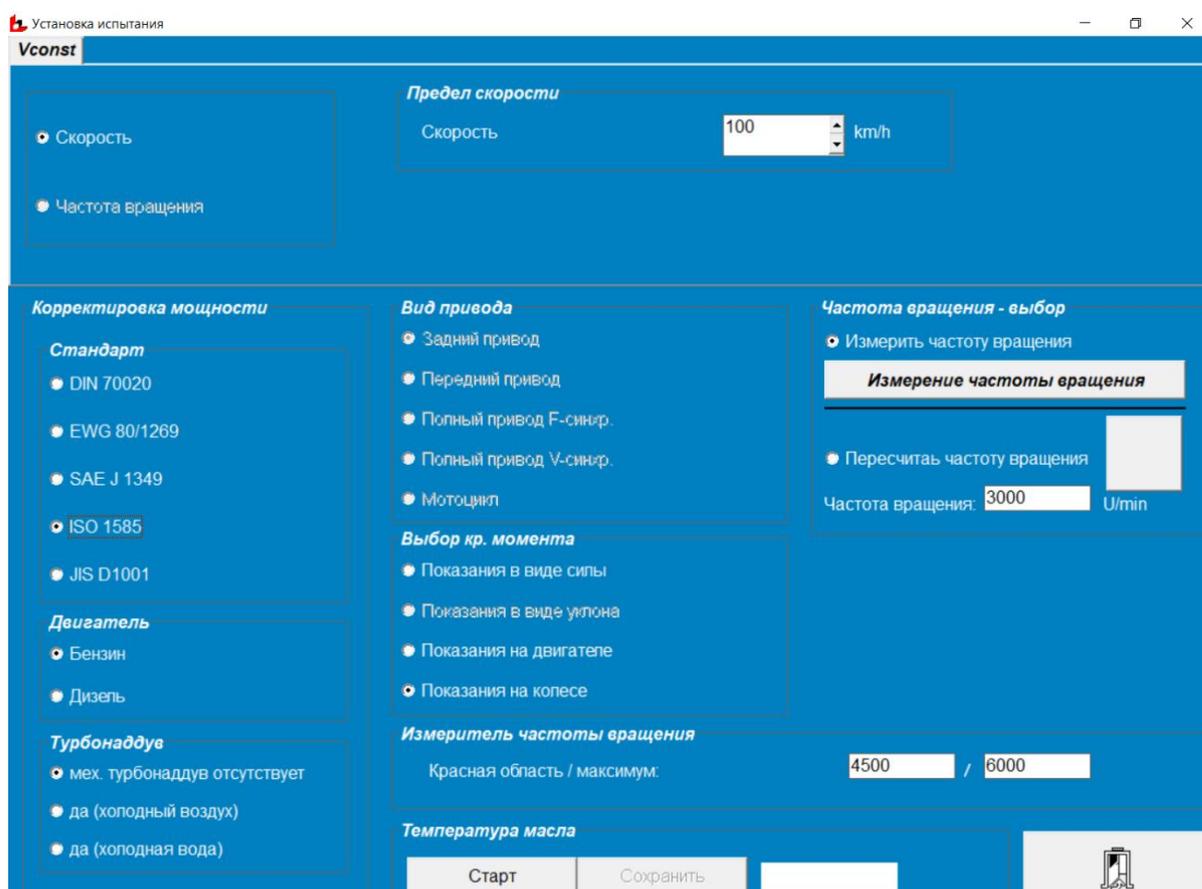


Рисунок 3.18 – Подпрограмма V-const

Выбираются параметры, представленные ниже.

Предел скорости - максимально допустимый предел ограничения скорости.

Измеритель частоты вращения – устанавливается красная область/максимум значений оборотов двигателя. Во время проведения испытаний, значения оборотов двигателя не должны превышать установленного предела.

Измерение частоты вращения – нажатием на ярлык, открывается панель, где отображаются обороты коленчатого вала двигателя. Количество оборотов двигателя отобразится в виде цифр и показаний стрелочного индикатора. Корректное отображение количества оборотов двигателя связано с выбором числа цилиндров двигателя. Отображение количества оборотов прекращается нажатием на ярлык СТОП.

Корректировка мощности и крутящего момента - с целью сравнения результатов, полученных в режиме испытаний *P-max* и *V-const* со стандартными значениями, полученные результаты должны быть скорректированы в соответствии с требованиями одного из нижеприведённых стандартов.

Коррекция мощности и крутящего момента двигателя при испытаниях на мощностном стенде производится в соответствии со стандартами: DIN 70020 (Германский институт стандартизации), ЕЕС 80/1269 (стандарт Европейского Союза), ISO 1585 (Международная организация по стандартизации), SAE J1349 (Общество инженеров автомобильной промышленности США), JIS D1001 (Японский промышленный стандарт).

В России так же существует ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний», с учетом которого приводят мощностные показатели двигателя к стандартным атмосферным условиям [18].

Данная корректировка необходима по следующим причинам. Показатели двигателя зависят от атмосферных условий (давления, температуры и влажности воздуха). Так, при уменьшении температуры и увеличении давления возрастает плотность, а следовательно, и масса заряда, поступившего в цилиндр, что приводит к повышению мощности двигателя. Кроме того, атмосферные условия оказывают влияние на протекание рабочих процессов двигателя. Для того, чтобы

иметь возможность сопоставлять результаты испытаний, проведенных в разное время и, следовательно, при разных атмосферных условиях и для сравнения результатов испытаний с данными технических характеристик двигателей, мощностные показатели принято приводить к определенным атмосферным условиям [24].

Ниже приведена сравнительная таблица 3.10, в которой для каждого стандарта и типа двигателя указана формула поправочного коэффициента. Для приведения к стандартным условиям полученное при испытаниях значение мощности, крутящего момента и среднего эффективного давления умножают на поправочный коэффициент.

Таблица 3.10 – Стандарты для коррекции мощностных параметров (сравнение)

<b>DIN 70020</b>	
Бензиновые двигатели	$K_a = \frac{1013}{p} \cdot \left(\frac{T}{293}\right)^{0,5}$
Дизельные двигатели (с естественным обдувом и/или механическим наддувом)	$K_a = \frac{1013}{p} \cdot \left(\frac{T}{293}\right)^{0,5}$
Дизельные двигатели (с турбонаддувом)	$K_a = \frac{1013}{p} \cdot \left(\frac{T}{293}\right)^{0,5}$
<b>ЕЕС 80/1269</b>	
Бензиновые двигатели	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6}$
Дизельные двигатели (с естественным обдувом и/или механическим наддувом)	$K_a = \left(\frac{990}{p} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7}\right)^{fm}$
Дизельные двигатели (с турбонаддувом)	$K_a = \left(\left(\frac{990}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1,5}\right)^{fm}$
<b>ISO 1585</b>	
Бензиновые двигатели	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6}$
Дизельные двигатели (с естественным обдувом и/или механическим наддувом)	$K_a = \left(\frac{990}{p} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7}\right)^{fm}$
Дизельные двигатели (с воздушно-охлаждаемым турбонаддувом)	$K_a = \left(\left(\frac{990}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1,2}\right)^{fm}$

Дизельные двигатели (с турбонаддувом водяного охлаждения)	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7} fm$
<b>SAE J1349</b>	
Бензиновые двигатели	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6}$
Дизельные двигатели (с естественным обдувом и/или механическим наддувом)	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7} fm$
Дизельные двигатели (с турбонаддувом)	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1,5} fm$
<b>JIS D1001</b>	
Бензиновые двигатели	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7} fm$
Дизельные двигатели (с естественным обдувом и/или механическим наддувом)	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1,5} fm$
Дизельные двигатели (с турбонаддувом)	$K_a = \left(\frac{990}{p}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6}$
<b>ГОСТ 14846-81</b>	
Бензиновые двигатели	$K_H = \left(\frac{B_0 - B_{0,в.п}}{B - B_{в.п}}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6}$

\* Коэффициенты для международных стандартов:

$K_a$  - корректирующий коэффициент;  $p$  - атмосферное давление в помещении где проводятся испытания, в мБар;  $T$  - Температура воздуха в помещении где проводятся испытания, в К;  $fm$  - коэффициент двигателя, равный 0,3.

Коэффициенты для российского ГОСТ:

$K_H$  - корректирующий коэффициент;  $B$  - атмосферное давление в помещении где проводятся испытания, в кПа;  $B_0$  - стандартное атмосферное давление, кПа;  $B_{в.п.}$  - давление водяных паров при испытаниях, кПа;  $B_{0,в.п.}$  - принятое стандартное давление водяных паров, равное 1 кПа;  $T$  - температура воздуха на входе в двигатель при испытаниях, °С;  $T_0$  - температура воздуха = 298 К (25 °С);

### 3.6.2 Методика проведения экспериментальных исследований

Перед испытанием проверяется уровень масла в двигателе. Для уменьшения пятна контакта шины с роликом, давление в шинах должно быть

выше рекомендуемого производителем автомобиля. Для обеспечения корректного эксперимента выключаются все дополнительные потребители. К моменту начала испытаний двигатель прогревался до рабочей температуры.

Согласно методике эксперимента, которую мы соблюдали, АТС должно быть установлено на беговые барабаны задней осью. Автомобиль располагается перпендикулярно роликам мощностного стенда. Проводится фиксация автомобиля при помощи натяжных ремней. Регулируются отбойные ролики, расстояние от колеса до ролика было 5-8 см. Отбойные ролики должны располагаться таким образом, чтобы они не касались колёс автомобиля. Отбойные ролики фиксируются при помощи ручных фиксаторов.

Свободные концы ремней для фиксирования автомобиля не должны попадать под колеса автомобиля или в ролики стенда. Это условие необходимо соблюдать и контролировать при включении вентилятора.

#### Подпрограмма P-tax.

За минимально возможный промежуток времени (при минимально возможных скоростях вращения двигателя и скорости движения автомобиля) необходимо выйти на прямую передачу. Как только прямая передача включается, автомобиль имитирует максимальное ускорение (режим «педаль в пол»). Во время испытаний система ограничивает максимальное ускорение значением, выбранным в настройках испытаний. При достижении стрелкой тахометра автомобиля красной зоны значений оборотов двигателя, или после превышения максимальной мощности данного автомобиля, необходимо выжать сцепление и дать ведущим колесам свободно вращаться до полной остановки. Нельзя отпускать сцепление и каким-либо иным способом осуществлять торможение вращения ведущих колёс, так как это приведет к некорректным результатам измерений в связи с неправильным режимом расчета потерь на мощность.

В данном режиме показатели двигателя определяются при неустановившемся режиме работы двигателя.

#### Подпрограмма V-const.

Автомобиль ускоряется, достигает необходимую передачу, в нашем случае выходя на прямую передачу. Далее преодолевается установленный предел скорости при положении педали газа (режим «педаль в пол»). При достижении желаемой мощности, необходимо обеспечить неподвижное положение педали.

При таком алгоритме действий, измеряемые значения стабилизируются в пределах  $\pm 2\%$  и автоматически сохраняются. Указанные действия повторяются с различными пределами скоростей.

Режим в подпрограмме *V-const* реализуется установившийся режим работы двигателя. Это режим, при котором крутящий момент, частота вращения, температура охлаждающей жидкости, температура масла, а для двигателей воздушного охлаждения и температура двигателя, изменяются за время измерения не более чем на  $\pm 2\%$ .

Таким образом, повторяя испытания с различными пределами скоростей при полной подаче топлива (режим «педаль в пол») на прямой передаче, мы по полученным данным получали внешнюю скоростную характеристику двигателя.

Испытания проводили 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», ГОСТ 22576-90 «Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний» и ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» [18, 19, 20].

### **3.6.3 Результаты испытаний и их анализ**

Было проведено не менее 5 испытаний двигателя автомобиля Газель, укомплектованного неочищенными ультразвуком форсунками, а так же форсунками после воздействия на них ультразвука. Изменения мощности (N) и крутящего момента (M) в зависимости от частоты вращения коленчатого вала оценено с использованием алгоритма обработки данных, применяемого в математической статистике, научных исследованиях и в расчетах надежности изделий [1, 6, 42, 43, 52, 56, 76, 120, 121].

После поиска максимального и минимального значений частоты вращения коленчатого вала ( $n_{ч}$ ) рассчитывался размах:

$$\Delta x = x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}, \quad (3.3)$$

где  $x_{\text{макс}}$  - максимальное значение частоты вращения коленчатого вала;

$x_{\text{мин}}$  - минимальное значение частоты вращения коленчатого вала.

Далее определялось число интервалов ( $k$ ), на которые можно разбить, представленные в колонке табличного протокола испытаний значения  $n_{ч}$ :

$$k = 1 + 3.32 \cdot \lg(N_{\text{ст}}), \quad (3.4)$$

где  $N_{\text{ст}}$  - число значений параметра  $n_{ч}$ .

Для расчета значения интервала (шага)  $\delta$  использовалась формула Стьеджера:

$$\delta = \frac{x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}}{1 + 3.32 \cdot \lg(N_{\text{ст}})}, \quad (3.5)$$

В результате такой обработки было получено 10 интервалов значений частоты вращения коленчатого вала. Далее рассчитывали для величин мощности и крутящего момента, заключенных в каждом интервале, их среднюю величину.

Полученные таким образом 5 значений (5-и разовые испытания) усредняли (интервал частот вращения коленчатого вала 2000-5200 об·мин<sup>-1</sup>). Далее рассчитывалось средние значения  $\tilde{x}$  мощности и крутящего момента для пяти значений, погрешность измерения.

Обработка данных производилась при помощи следующих формул.

Для расчета среднего арифметического значений мощности и крутящего момента использовалась формула:

$$\tilde{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3.6)$$

Далее определялись дисперсия, стандартное отклонение и погрешности измерения при помощи следующих формул:

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{X})^2}{n-1} - \text{дисперсия}, \quad (3.7)$$

$$s_{\tilde{x}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}} - \text{стандартное отклонение оценки } \tilde{x}, \quad (3.8)$$

$$\Delta x = t_{\gamma} \cdot s_{\tilde{x}} - \text{погрешность измерения (значимость } \gamma = 0,05, t_{\gamma} = 2,78), \quad (3.9)$$

В результате обработки данных, полученных в программе P-max, были построены кривые мощности и крутящего момента (рисунки 3.19 и 3.20).

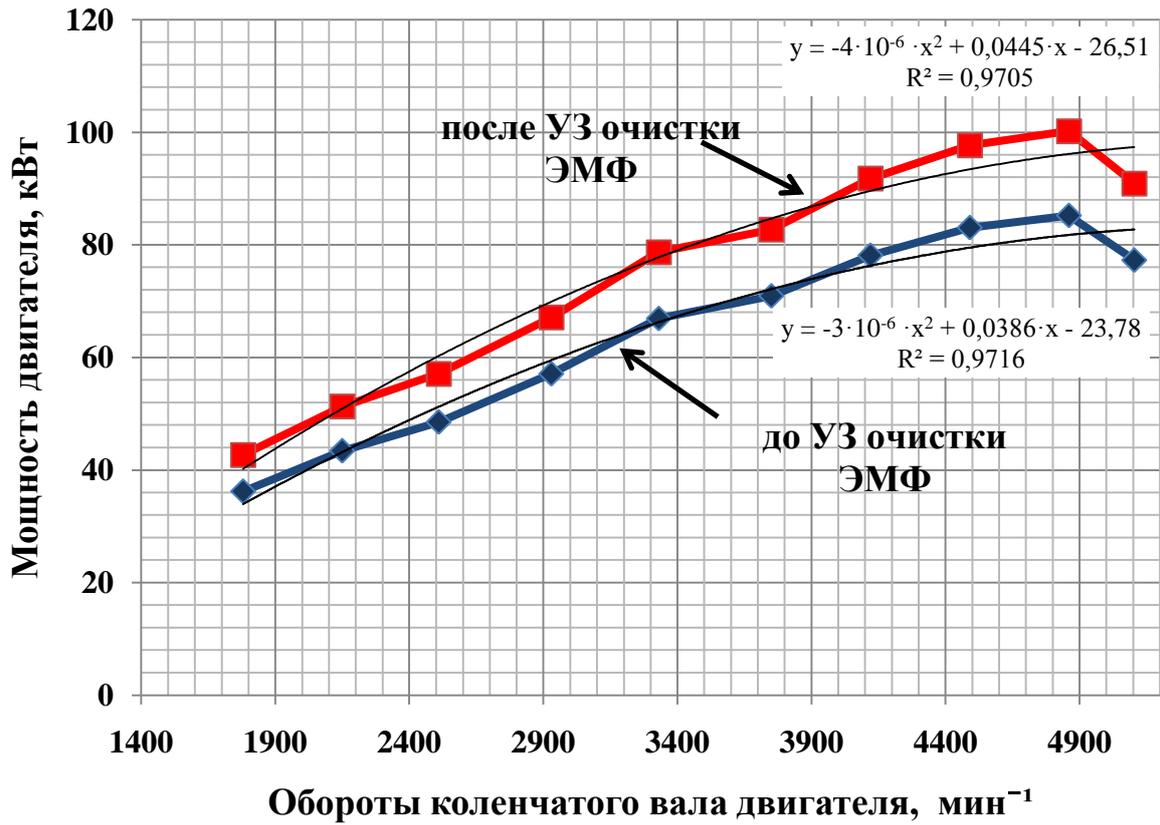


Рисунок 3.19 – Зависимость мощности от оборотов коленчатого вала до и после очистки форсунок в ультразвуковой ванне, полученную в подпрограмме Р-тах.

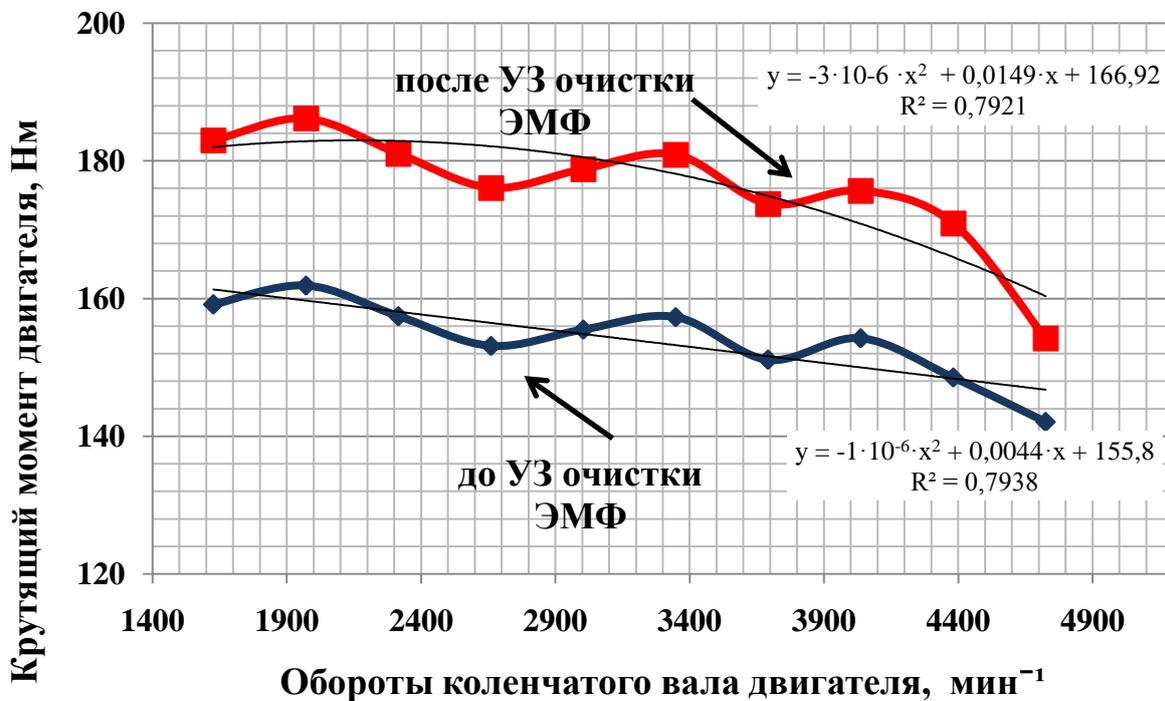


Рисунок 3.20 – Зависимость крутящего момента от оборотов коленчатого вала до и после очистки форсунок в ультразвуковой ванне, полученную в подпрограмме Р-тах.

В таблице 3.11 представлены максимальные значения мощности и крутящего момента двигателя ЗМЗ-4062.10.

Таблица 3.11 – Максимальная мощность ( $N_{\text{макс}}$ ) и максимальный крутящий момент ( $M_{\text{макс}}$ ) двигателя ЗМЗ-4062.10 автомобиля ГАЗ-27040 V при испытаниях в подпрограмме P-max

Параметр	Пробег, тыс. км		
	*0	40	
		до промывки ЭМФ	после промывки ЭМФ ультразвуком
$N_{\text{макс}}$ , кВт	107	85.8±1.1	100.4±0.7
$M_{\text{макс}}$ , Н·м	201	163.6±3.5	187.3±6.2

\* - номинальная мощность как гарантируемый изготовителем параметр  $N$  двигателя на режиме полного дросселя и заданной частоты вращения коленчатого вала; по паспортным данным  $N=107$  кВт при  $5200$  об·мин<sup>-1</sup>,  $M=201$  Н·м при  $4000$  об·мин<sup>-1</sup>.

В результате обработки данных, полученных в программе V-const, так же были построены кривые мощности (рисунок 3.21 и таблица 3.12).

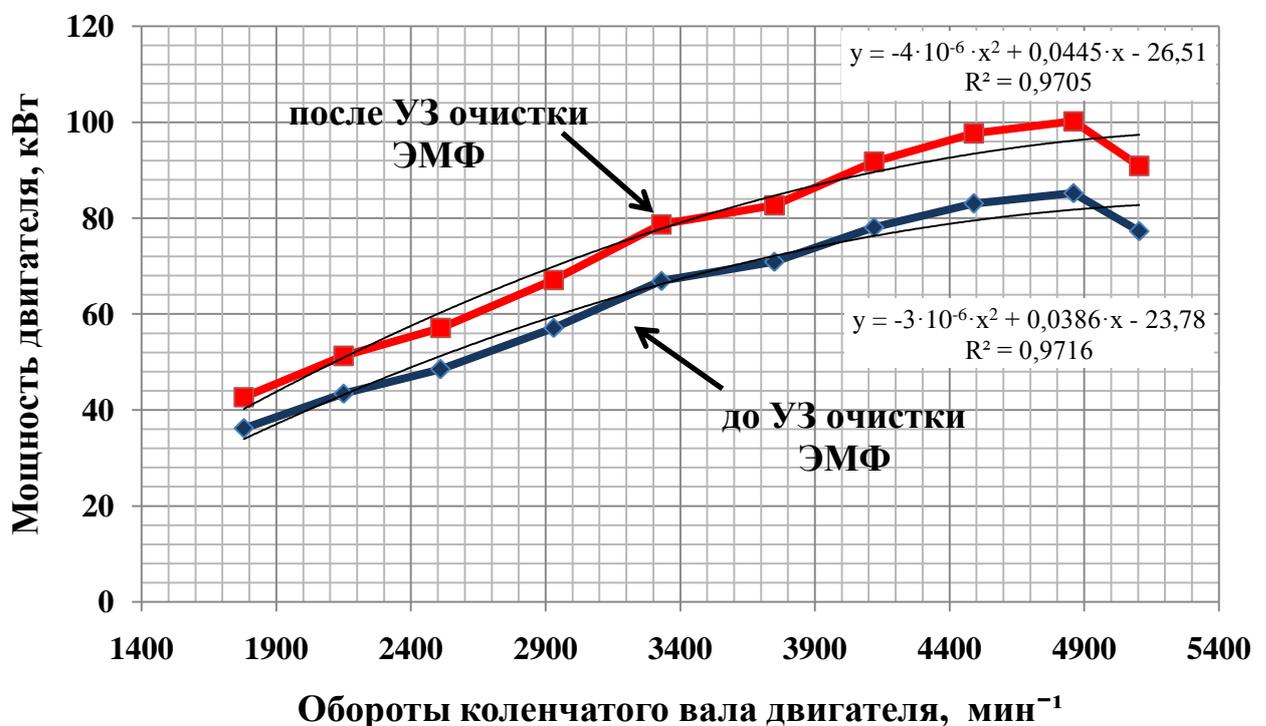


Рисунок 3.21 – Зависимость средней мощности от оборотов коленчатого вала до и после очистки форсунок в ультразвуковой ванне, полученную в подпрограмме V-const

Таблица 3.12 – Мощность ( $N_v$ ) двигателя ЗМЗ-406 автомобиля ГАЗ-27040 V при испытаниях в подпрограмме V-const

Выбранная скорость V, км·ч <sup>-1</sup> и соответствующие ей обороты коленчатого вала двигателя n, мин <sup>-1</sup>	Пробег, 40 тыс. км	
	$N_v$ , кВт	
	до промывки ЭФМ	после промывки ЭМФ ультразвуком
40 / 1750	36,2	42,7
50 / 2150	43,4	51,3
60 / 2510	48,5	57,1
70 / 2930	57,1	67,1
80 / 3330	66,9	78,7
90 / 3750	70,9	82,7
95 / 4120	78,1	91,7
100 / 4490	83,0	97,6
105 / 4860	85,2	100,2
110 / 5104	77,3	90,9

Проведенные эксперименты показали, что эксплуатационные изменения основных рабочих показателей электромагнитных форсунок существенно влияют на энергетические характеристики автомобильного бензинового двигателя. Так, при 40 тыс. км пробега автомобиля, после ультразвуковой очистки форсунок, эффективная мощность повышается на 13-19%, эффективный крутящий момент возрастает на величину 14-16%.

### 3.7 Методика оценки экологических показателей двигателя

Для исследования изменений загрязняющих веществ в отработавших газах, использовался газоанализатор Инфракар М-2Т.01 (рисунок 3.22) [41, 80, 90].



Рисунок 3.22 – Внешний вид газоанализатора Инфракар М-2Т.01

Прибор предназначен для измерения объёмной доли оксида углерода (CO), углеводородов (CH), диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), кислорода (O<sub>2</sub>). В газоанализаторе имеются каналы для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя и температуры двигателя, осуществляется расчет коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ .

Прибор состоит из системы пробоотбора и пробоподготовки, измерительного и электронного блоков. Конструктивно газоанализатор выполнен в металлическом корпусе, предназначенном для установки на горизонтальной поверхности (столе).

Система пробоотбора и пробоподготовки газоанализатора включает газозаборный зонд, пробоотборный шланг, бензиновый фильтр, 2-х камерный насос, клапан пневматический, каплеотбойник и три фильтра тонкой очистки для газоанализатора. Каплеотбойник в нижней части соединен со штуцером для автоматического слива конденсата побудителем расхода.

Принцип действия датчиков объёмной доли ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , углеводородов  $\text{CH}$ ) - оптико-абсорбционный.

Принцип действия датчиков измерения концентрации кислорода ( $\text{O}_2$ ) - электрохимический.

Принцип действия датчиков частоты вращения коленчатого вала основан на индуктивном методе определения частоты вращения импульсов тока в системе зажигания.

Измерительный блок содержит оптический блок, в котором имеются излучатель, измерительная кювета, 4 пироэлектрических приемника излучения, перед которым размещены 4 интерференционных фильтра. Излучатель работает в пульсирующем режиме.

Оптическая и пневматическая схемы прибора приведены на рисунке 3.23 и рисунке 3.24.

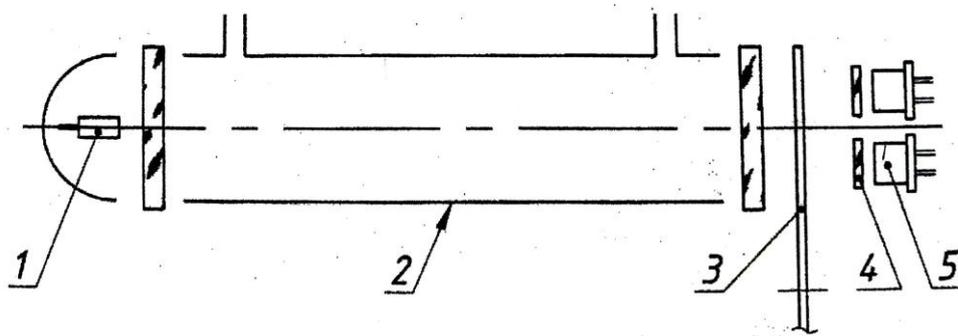


Рисунок 3.23 – Схема оптическая

1-излучатель; 2-кювета; 3-обтюратор; 4-интерференционные фильтры; 5-приемники излучения

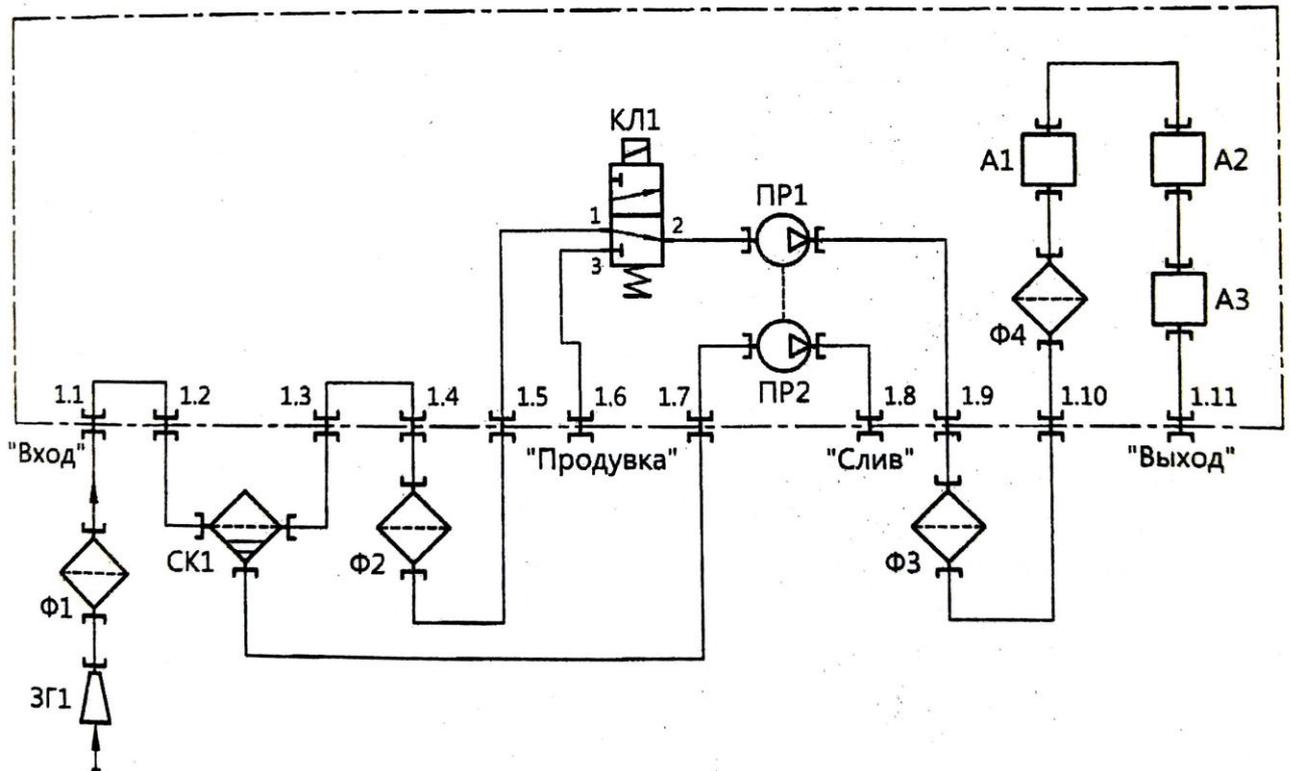


Рисунок 3.24 – Схема пневматическая

Ф1-бензиновый фильтр; СК1-каплеотбойник; Ф2, Ф3, Ф4-фильтры для газоанализатора №1; ПР1-побудитель расхода воздуха; ПР2-побудитель для удаления конденсата; КЛ1-клапан пневматический; А1-кювета; А2-датчик оксида азота; А3-датчик кислорода

Технические характеристики газоанализатора представлены в таблице 3.13.

*Подготовка прибора к работе.*

Установили прибор на горизонтальной поверхности. К разъему на задней панели подключили кабель питания 220 В. К штуцеру «Слив» подсоединили трубку для сбора конденсата. К штуцеру «Вход» подсоединили бензиновый фильтр, через короткую трубку из ПВХ. К фильтру подсоединили пробоотборный шланг с газозаборным зондом.

К гнезду на задней панели подключили кабель с датчиком тахометра, датчик подсоединили к высоковольтному проводу 1-й свечи.

Таблица 3.13 – Технические характеристики газоанализатора Инфракар М-2Т.01

Модель	М-2Т.01
Класс прибора (по ГОСТ 52033-2003)	I
Диапазон измерений объемной доли CO	0...5 %
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений CO	±0,06% (0...1,25%)
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений CO	±4% (1,25...5%)
Диапазон измерений объемной доли CH	0...2000 ppm
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений CH	±12 ppm (0...240 ppm)
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений CH	±5% (240...2000 ppm)
Диапазон измерений объемной доли CO <sub>2</sub>	0...16 %
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений CO <sub>2</sub>	±0,5% (0...12,5%)
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений CO <sub>2</sub>	±4% (12...16%)
Диапазон измерений объемной доли O <sub>2</sub>	0...21 %
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений O <sub>2</sub>	±0,1% (0...3,3%)
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений O <sub>2</sub>	±4% (3,3...21%)
Пределы допускаемой погрешности приведенной к верхнему пределу измерений	±2,5%
Потребляемая мощность не более	40 Вт
Масса (НЕТТО)	7 кг
Габариты (ШхГхВ)	310 x 355 x 180 мм

Для графического отображения и обработки показаний через программу "ИНФРАКАР-ГРАФИЧЕСКИЙ" версии 1.2.1.0 к гнезду на задней панели через интерфейс RS 232 подключали прибор к ноутбуку (рисунок 3.25).

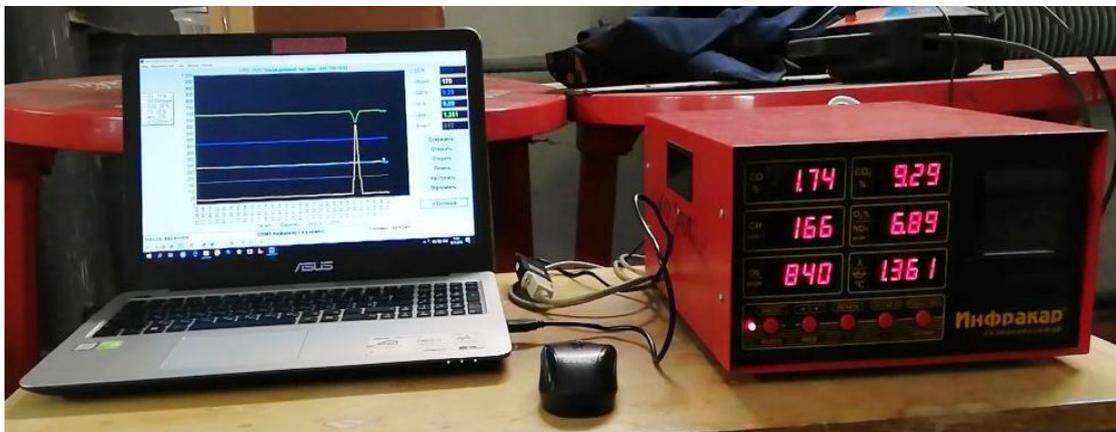


Рисунок 3.25 – Газоанализатор Инфракар М-2Т.01, подключенный к ноутбуку

В программе "ИНФРАКАР-ГРАФИЧЕСКИЙ" использовали опцию «График», вид которой представлен на рисунке 3.26.



Рисунок 3.26 – Программа "ИНФРАКАР-ГРАФИЧЕСКИЙ", опция «График»

В данной опции записью графика можно управлять кнопкой (Запись/Останов), при повторном нажатии кнопки (Запись) запись продолжается с точки остановки. Для очистки поля графика есть кнопка (Стереть).

Кроме того в "Опциях" есть пункт "Включать запись графика при достижении связи с прибором". Запись продолжается вне зависимости от работы Таблицы, Отчета и Диаграммы, в т.ч. когда графика не видно.

На графике отображаются все показания прибора, а в численной форме в правом верхнем углу. Там же предусмотрена возможность отключать вывод отдельных графиков (но запись их продолжается).

Слева выводится легенда, в которой, помимо прочего, указаны верхние границы шкалы. Можно менять верхние границы для каждого графика в (Опциях)- "Управление", попасть туда можно щелчком мыши на легенде.

Отключать легенду, изменять цвет графиков и фона, а также толщину линий можно в Опциях. По горизонтальной оси откладываются метки времени. В поле

графика выводится текстовая информация, внесенная в поля, открываемых кнопкой (Оформить) или клавишей F10, а также текущая дата.

График может быть во много раз шире экрана. Для его просмотра надо захватить поле графика правой кнопкой мыши и протянуть влево или вправо.

Щелчок левой кнопкой мыши в поле графика (при остановленной записи) приводит к отображению значений показаний в этой точке в численном виде.

Видимая часть графика может быть выведена на печать (на это время цвет фона переключается на белый) или сохранена в графических файлах (\*.bmp- в точечной форме, \*.emf- в векторной).

Весь график вместе с текстовой информацией может быть Сохранен/Открыт в специальных файлах данных (\*.dan). После открытия его запись можно продолжить. Помимо этого возможно создание текстового файла со значениями всех точек для последующей обработки, например, в Excel. Файлы сохраняются по умолчанию в папке Graph с именами, состоящими из № автомобиля, месяца, числа и времени.

В "Опциях" есть пункт "Точек времени на экране". Параметр позволяет изменять масштаб изображения по оси времени. За 10% до края поля график начинает сдвигаться влево, освобождая место для новых точек.

Можно задать "Сдвиг на одну точку" или указать величину сдвига в % экрана. В последнем случае сдвиг будет происходить периодически, рывком, что может оказаться полезным для "медленных" компьютеров.

"Интервал заполнения графика" определяет время между записью соседних точек. "Всего точек времени" накладывает ограничение на размер всего графика. На основании этих двух параметров программа показывает максимальный размер файла данных (\*.dan) и время его заполнения. Можно выбрать "По заполнении всего графика:"

1. сдвигать график, стирая начало.
2. останавливать запись с сообщением.

В первом случае сдвиг и стирание будут происходить на ту же величину, что и сдвиг в пределах экрана.

Таким образом, заполнение графика идет в три стадии:

1. Запись в пределах экрана, до величины ("Точек времени на экране" - 10%).
2. Сдвиг за пределы экрана, до величины "Всего точек времени".
3. Сдвиг со стиранием начала - до бесконечности.

*Подготовка к проведению измерений.*

Перед измерением двигатель автомобиля должен быть прогрет до температуры не ниже рабочей температуры моторного масла или охлаждающей жидкости, указанной в инструкции по эксплуатации автомобиля, но не ниже 60 °С.

После прогрева двигателя устанавливается рычаг коробки передач в нейтральное положение. Далее подключаются датчики тахометра и измерителя температуры масла.

Устанавливается пробоотборный зонд газоанализатора в выпускную трубу автомобиля на глубину не менее 300 мм от наиболее заглубленной точки среза трубы.

Все каналы прибора настраиваются на «ноль», нажатием соответствующей кнопки.

Кнопка на тахометре «4/2 такта» нажимается и удерживается.

Таким образом устанавливается тип двигателя, к которому подключается прибор.

Устанавливается трубка на соединение для слива конденсата для отбора влаги от прибора;

Щуп вставляется в выхлопную трубу для отбора пробы газа. Подключается сетевой кабель. Проверяется соединение температурного, индукционного датчика, а так же проверяется заземление розетки.

*Проведение измерений.*

Измерения проводятся в следующем порядке:

- запускается двигатель, увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя до повышенного значения оборотов (2500 об/мин) осуществляется

нажатием на педаль управления дроссельной заслонкой. Работа в указанном режиме длиться не менее 15 с;

- отпускается педаль управления дроссельной заслонкой, устанавливается минимальная частота вращения вала двигателя (850 об/мин) и не ранее чем через 30 с измеряется содержание оксида углерода и углеводородов;

- устанавливается повышенная частота вращения вала двигателя (2500 об/мин) и не ранее чем через 30 с измеряется содержание оксида углерода и углеводородов.

Замер концентрации отработавших газов на газоанализаторе производился через каждую секунду. В результате была получена таблица чисел (рисунок 3.27), которая отражает концентрацию CO, CH через каждую секунду времени.

CO	CH	CO2	O2	lamb	n	Time
5,68	190	9,62	2,30	0,930	2060	00:00:00
5,68	190	9,62	2,33	0,930	2070	13:32:38
5,67	190	9,62	2,33	0,932	2070	13:32:39
5,68	190	9,62	2,33	0,932	2080	13:32:40
5,67	190	9,62	2,33	0,932	2080	13:32:41
5,67	190	9,62	2,33	0,932	2080	13:32:42
5,67	190	9,62	2,33	0,932	2070	13:32:43
5,67	190	9,62	2,33	0,932	2080	13:32:44
5,66	190	9,62	2,33	0,932	2080	13:32:45
5,66	190	9,60	2,33	0,932	2080	13:32:46
5,66	190	9,60	2,33	0,932	2080	13:32:47
5,66	190	9,60	2,33	0,932	2070	13:32:48
5,66	190	9,60	2,33	0,932	2080	13:32:49
5,66	190	9,60	2,33	0,932	2080	13:32:50
5,66	190	9,60	2,33	0,932	2090	13:32:51
5,66	190	9,60	2,33	0,932	2090	13:32:52
5,66	190	9,58	2,35	0,932	2090	13:32:53
5,66	190	9,58	2,35	0,932	2090	13:32:54
5,66	190	9,58	2,35	0,932	2070	13:32:55
5,65	190	9,58	2,35	0,932	2080	13:32:56
5,65	190	9,58	2,35	0,934	2070	13:32:57
5,65	190	9,58	2,35	0,934	2090	13:32:58
5,65	190	9,58	2,38	0,934	2080	13:32:59
5,64	190	9,56	2,38	0,934	2080	13:33:00
5,64	190	9,56	2,38	0,934	2070	13:33:01
5,64	190	9,56	2,38	0,934	2070	13:33:02
5,64	190	9,56	2,38	0,934	2070	13:33:03

Рисунок 3.27 – Табличный протокол испытаний на газоанализаторе

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 (с Изменением N 1)».

Настоящий стандарт устанавливает нормативные значения содержания в отработавших газах автомобилей оксида углерода и углеводородов, а так же методы контроля при оценке технического состояния систем автомобиля и двигателя.

Данные были обработаны с использованием табличного процессора *Microsoft Office Excel* и представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Содержание ( $C_{CO}$ ,  $C_{CH}$ ) в отработавших газах (ОГ) оксида углерода (CO) и продуктов неполного сгорания топлива (CH) при работе двигателя ЗМЗ-406 автомобиля ГАЗ-27040 V (без нейтрализатора) в режиме холостого хода

Газ	Бензин АИ-92			
	$n \cong 850 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$		$n \cong 2500 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$	
	до промывки ЭФМ	после промывки ЭФМ ультразвуком	до промывки ЭМФ	после промывки ЭМФ ультразвуком
CO, %	$1.764 \pm 0.003$	$0.618 \pm 0.006$	$2.377 \pm 0.004$	$1.577 \pm 0.008$
CH, %	$(170.4 \pm 0.5) \cdot 10^{-6}$	$(117.3 \pm 0.6) \cdot 10^{-6}$	$(186.2 \pm 3.1) \cdot 10^{-6}$	$(128.6 \pm 0.8) \cdot 10^{-6}$

### 3.8 Выводы по третьей главе

В третьей главе описаны программы и методики экспериментальных исследований по эксплуатационным изменениям основных показателей электромагнитных форсунок и их влияния на энергетические и экологические характеристики автомобильного бензинового двигателя:

1. Проведена оценка извлечения поверхностных загрязнений с элементов форсунки при помощи лабораторной установки (разработанной в первые) с использованием прибора Reanimator Injector Reanimator v 2.0 (Реаниматор

форсунок). Измеряли водородный показатель рН и электропроводность  $\sigma$  жидкой фазы.

2. Проведена оценка технического состояния ЭМФ и их очистки. Экспериментально полученные данные по эксплуатационным изменениям основных показателей электромагнитных форсунок свидетельствуют о том, что с увеличением пробега автомобиля их рабочие характеристики могут существенно изменяться, причем, как в сторону увеличения, так и уменьшения цикловых подач топлива. При этом наиболее критичным для двигателя является возрастающая не идентичность цикловых подач в комплекте форсунок, которую не может компенсировать микропроцессорная система управления двигателем.

3. Исследован распылитель форсунки для подтверждения факта износа.

Анализ снимков показал, что у форсунки с наработкой наблюдаются последствия износа сопловых отверстий, а именно изменяется форма и угол выходной фаски соплового отверстия вследствие процессов кавитационного изнашивания. В результате изменения формы и угла фаски соплового отверстия изменяется форма конуса распыливания.

4. Проведены сравнительные испытания энергетических и экологических характеристик с комплектом форсунок до и после ультразвуковой очистки.

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

## Глава 4. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

### 4.1 Разработка технологического процесса очистки распылителей форсунок моющим раствором в ультразвуковом поле

На основании проведенных теоретических и экспериментальных (в лабораторных и производственных условиях) исследований разработан и издан новый технологический процесс ультразвуковой очистки распылителей форсунок на ремонтных предприятиях АПК [60, 61].

Технология ультразвуковой очистки распылителей разработана применительно к процессу очистки форсунок на специализированных предприятиях. Технологическая схема организации процесса очистки распылителей ЭМФ представлена на рисунке 4.1.

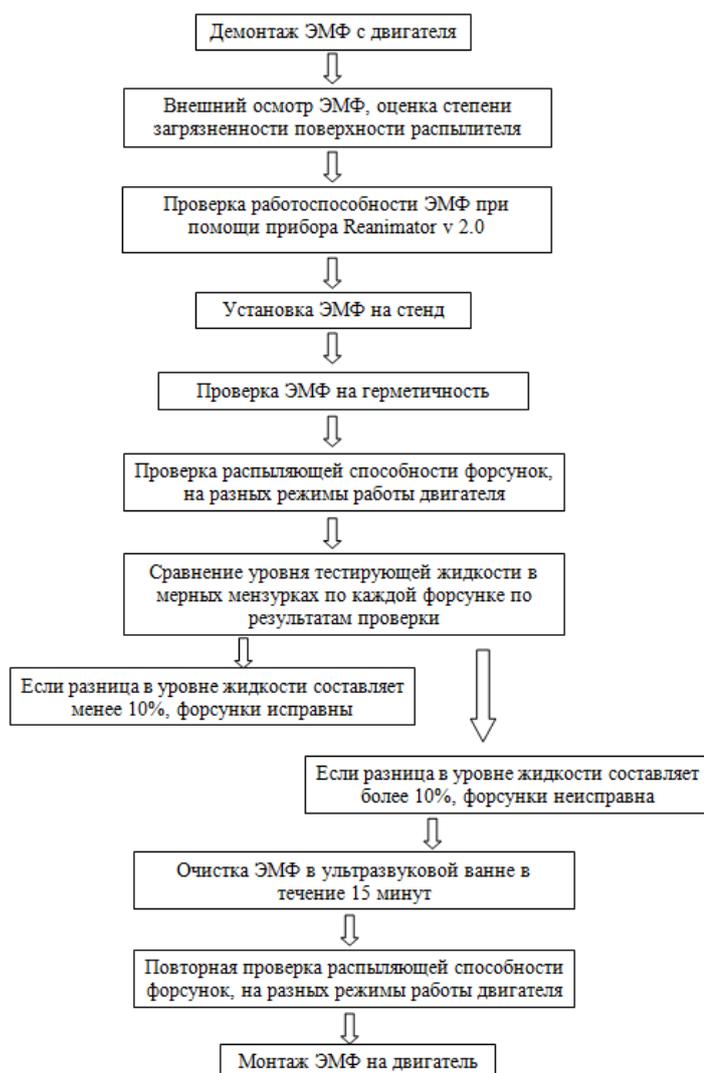


Рисунок 4.1 – Технологическая схема организации процесса очистки распылителей ЭМФ

Основные этапы процесса: приемка ЭМФ; проверка работоспособности ЭМФ; проверка параметров ЭМФ; очистка ЭМФ. Основные контролируемые параметры: качество распыла топлива, герметичность, производительность.

#### 4.2 Определение периодичности технического обслуживания топливной аппаратуры двигателя ЗМЗ-4062.10

Расчет периодичности технического обслуживания проводился по методике предложенной профессором Денисовым А.С. [30].

При определении периодичности технического обслуживания топливной аппаратуры (ТА) двигателя ЗМЗ-4062.10 так же использовался технико-экономический метод [10, 15, 30, 58, 77, 78, 79, 80, 81], в котором предполагается оптимизация по минимуму суммарных удельных затрат на технические обслуживания ( $ТО_{ТА}$ ) и текущие ремонты ( $ТР_{ТА}$ ). Предварительно определялась стоимость технического обслуживания  $ТО_{ТА}$  двигателя ЗМЗ-4062.10 для рассматриваемой организации:

$$ТО_{ТА} = З_{з/п} + З_{н} + З_{а} \quad (4.1)$$

где  $З_{з/п}$  – заработная плата работника, (руб);  $З_{н}$  – налоговые отчисления, (руб);  $З_{а}$  – амортизационные затраты, (руб).

Об оптимальности периодичности обслуживания ( $l$ ) свидетельствуют минимальные удельные затраты. Удельные затраты на диагностирование ТА, согласно методике определяются по формуле:

$$C'_{ТО_{ТА}} = \frac{ТО_{ТА}}{l} \quad (4.2)$$

где  $l$  – периодичность ТО, (км);  $ТО_{ТА}$  – разовые затраты на техническое обслуживание ТА, (руб).

При расчете оптимальной периодичности ТР, необходимо учитывать, что увеличение пробега до проведения ТА влияет на вероятность отказа элементов двигателя и увеличивает удельные затраты на ТР.

Исходя из этого, минимальные суммарные удельные затраты определяются по формуле:

$$C_{\Sigma} = C'_{\text{ТО}_{\text{ТА}}} + C'_{\text{ТР}} \quad (4.3)$$

Для нахождения оптимальной периодичности технического обслуживания были взяты средние показатели размера оплаты труда автослесаря-диагноста по Рязанской области за 2020 год  $Z_{з/п} = 200$  руб/час, издержки по налогам  $Z_n = 50$  руб/час, затраты на амортизацию  $Z_a = 0,2\%$  стоимости оборудования.

Данные по удельным затратам на ремонт ТА сельскохозяйственной техники, эксплуатирующейся в Рязанской области были получены от представителей ООО «Рассвет». Данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Удельные затраты на  $\text{ТО}_{\text{ТА}}$  и ТР с учетом периодичности технического обслуживания

Периодичность $\text{ТО}_{\text{ТА}}$ , км	20 000	40 000	60 000	80 000	100 000	120 000
Удельные затраты $\text{ТО}_{\text{ТА}}$ , руб./км	0,30	0,25	0,13	0,08	0,06	0,05
Удельные затраты ТР, руб./км	0,80	0,81	0,85	0,90	1,15	1,35
Суммарные затраты $\text{ТО}_{\text{ТА}}$ и ТР, руб./км	1,1	1,06	0,98	0,98	1,21	1,40

По табличным данным удельные затраты на  $\text{ТО}_{\text{ТА}}$  и ТР с учетом периодичности технического обслуживания, строится соответствующая им регрессионная зависимость, имеющая следующий вид:

$$C_{\Sigma} = a_1 \cdot l^3 + a_2 \cdot l^2 + a_3 \cdot l + a_4 \quad (4.4)$$

где  $a$  – коэффициент регрессии,  $a_1 = 0,0037$ ;  $a_2 = 0,0039$ ;  $a_3 = - 0,1259$ ;  $a_4 = 1,2311$ ;  $l$  – периодичность ТО.

Регрессионная зависимость (4.4) и данные эксперимента по определению суммарных удельных затрат на ТО<sub>ТА</sub> и ТР от периодичности технического обслуживания в форме графика приведены на рисунке 4.2.

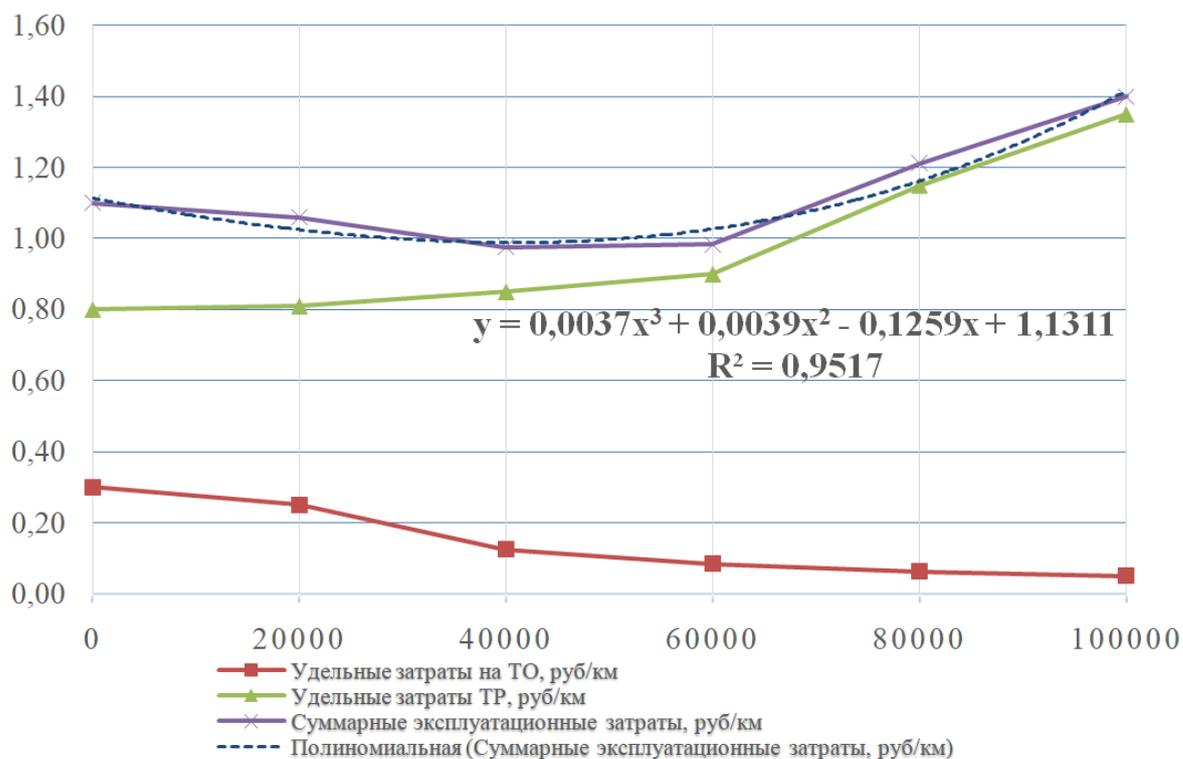


Рисунок 4.2 – Зависимость удельных и суммарных затрат на ТО и ТР от периодичности технического обслуживания

При анализе полученных данных видно, что минимальные суммарные удельные затраты, в зависимости от категории условий эксплуатации сохраняются при периодичности технического обслуживания ТА 38 000 ... 41 000 км, поэтому, для сокращения расходов целесообразно включить работы по техническому обслуживанию ТА двигателя ЗМЗ-4062.10 в состав работ по ТО-2, периодичность которого для Рязанской области (2-я категория условий эксплуатации) составляет 40 000 км.

#### 4.3 Технико-экономическая оценка эффективности исследования

Исследования теоретических и экспериментальных данных элементов топливной аппаратуры бензинового ДВС показали, что есть возможность сократить затраты на обеспечение его работоспособности возможно снижением

времени эксплуатации на предельных частотах вращения коленчатого вала и числа отказов узлов топливной аппаратуры [28, 29, 47, 58]. При этом экономический эффект в эксплуатации образуется за счет снижения затрат простоев в ремонте, а, следовательно, повышения производительности сельскохозяйственной техники.

В виду отсутствия единых тарифов на использование транспортных средств малой и средней грузоподъемности с бензиновыми двигателями с распределенным впрыском топлива в настоящих условиях, доходная ставка на 1 км. пробега в среднем составляет  $P = 35$  руб./км, а себестоимость в эксплуатации составляет  $S = 30$  руб./км. (данные на 2020 год). На данный момент, удельный простой в ТО и ТР  $d = 0,5$  дней/тыс. км. При определении годового экономического эффекта учитывался средний годовой пробег транспортной сельскохозяйственной техники, который по отчётным данным составляет  $L = 105$  тыс. км.

При оценке экономического эффекта в эксплуатации исходными данными являлись результаты влияния изменения параметров топливной аппаратуры ДВС на величину межремонтного ресурса транспортных средств. Эта информация, а также результаты экспериментальных данных позволили оценить величину повышения ресурса рассматриваемых транспортных средств в эксплуатации в  $\Delta l = 12\%$ . Так же экономическую оценку можно провести по снижению себестоимости перевозок, а так же производительности транспортных средств при сокращении простоев в техническом обслуживании и текущем ремонте.

По статистике, на силовой агрегат приходится до 38% ( $q_{CA}$ ) из общей доли затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт, который в себестоимости эксплуатации транспортной сельскохозяйственной техники составляет в среднем  $Q = 15\%$ . Отказы по топливной аппаратуре составляют  $q_{ТА} = 25,59\%$ . Умножением этих долей определяется относительное снижение себестоимости эксплуатации.

Снижение себестоимости:

$$\Delta S = Q \cdot q_{CA} \cdot q_{ТА} \cdot \Delta l. \% \quad (4.5)$$

Снижение себестоимости за год:

$$\Delta S_{\text{год}} = L \cdot S \cdot \Delta S. \text{руб./авт.} \quad (4.6)$$

Аналогично и сокращение простоев в ТР за счет снижения числа отказов ТА и по другим элементам ДВС. Доля простоев транспортной сельскохозяйственной

техники по причине отказов ДВС составляет  $y_{ca} = 44\%$ , из которых  $y_{та} = 22,59\%$  приходится на отказы топливной аппаратуры и сопряжённых с ней узлов.

Согласно методике, снижение простоев ТО и ТР (относительное):

$$\Delta y = y_{ca} \cdot y_{та} \cdot \Delta l. \% \quad (4.7)$$

Снижение простоев в ТО и ТР:

$$\Delta d = d \cdot \Delta y. \text{ дней/тыс. км,} \quad (4.8)$$

Снижение простоев за год:

$$\Delta D = \Delta y \cdot L \cdot d. \text{ дней/авт.,} \quad (4.9)$$

Увеличение доходов за год:

$$\Delta П = (P - S) \cdot \Delta y \cdot d. \text{ руб./авт.,} \quad (4.10)$$

Экономический эффект за год:

$$\Delta_{ТО,ТР} = \Delta П + \Delta S_{год} \text{ руб./авт.,} \quad (4.11)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 4.2.

	Показатели	Единица изм-я	Величина
1	Доходная ставка	руб./км.	35
2	Себестоимость эксплуатации	руб./км.	30
3	Средний простой в ТО и ТР	дн./тыс. км.	0,5
4	Среднегодовой пробег	тыс. км.	105
5	Относительное снижение количества отказов ТА по результатам работы	%	12
6	Доля затрат на ТО и Р в себестоимости эксплуатации	%	15
7	Доля отказов силовых агрегатов	%	38
8	Доля отказов ТА в отказах силовых агрегатов	%	25,59
9	Относительное снижение себестоимости эксплуатации по ТО и ТР	%	0,71
10	Годовое снижение себестоимости эксплуатации от снижения на ТО и ТР	руб./авт.	19 215,81
11	Доля простоев в ТО и ТР по отказам силового агрегата	%	44
12	Доля простоев на устранение отказов ТА	%	25,59
13	Относительное снижение простоев в ТО и ТР	%	1,15
14	Снижение простоев в ТО и ТР	дн./тыс. км.	0,75
15	Годовое снижение простоев в ТО и Р	дн./авт.	75,13
16	Годовое увеличение доходов от ТО и ТР	руб./авт.	4 654,39
17	Годовой экономический эффект от ТО и ТР	руб./авт.	23 870,2

При анализе полученных данных на рисунке 4.2, 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.

#### **4.4 Выводы по четвертой главе**

1. Обоснованы перечень 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.

2. 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, в соответствии с разработанным алгоритмом. Годовой экономический эффект от снижения расходов на ТР и экономию топлива составит 23870,2 руб. на один двигатель.

## **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 (2.9) 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.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абдуллин, Р.З. Эконометрика в MS Excel [Электронный ресурс] / Р.З. Абдуллин, В.Р. Абдуллин. – Иркутск : Изд-во БГУ, 2016. – 135 с. – Режим доступа: <http://lib-catalog.isea.ru>.
2. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем [Текст] / В. И. Аверченков, В. П. Федоров, М. Л. Хейфец. - 2-е изд., стереотип. - Москва: ФЛИНТА, 2011. - 271 с.
3. Автомобильный справочник [Текст] / Konrad Reif и др.; Bosch. - 3-е изд. - Москва: За рулем, печ. 2012. - 1274 с.
4. Байков, Д.В. Стенд для обкатки и испытаний двигателей мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности [Текст] / Д.В. Байков, А.П. Иншаков, С.С. Десяев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2. С. 51-53.
5. Бакайкин, Д. Д. Диагностирование электромагнитных форсунок бензиновых двигателей автомобилей, эксплуатируемых в сельском хозяйстве [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.03 / Бакайкин Дмитрий Дмитриевич.- Челябинск, 2013.- 132 с.
6. Бараз, В.Р. Использование MS Excel для анализа статистических данных [Текст] / В. Р. Бараз, В. Ф. Пегашкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – 181 с.
7. Березюков, Д. С. Разработка метода безразборного диагностирования электромагнитных форсунок ДВС с впрыском лёгкого топлива и исследование изменений их рабочих показателей [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.04.02 / Березюков Денис Сергеевич. - Волгоград, 2012. - 131 с.
8. Болуров, А.Ш. Методы определения цикловой подачи. Устройства и приборы для определения неравномерности топливоподачи [Текст] / А.Ш. Болуров, Д.В. Иванов // В сборнике: Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК сборник научных статей по материалам III Международной

научно-практической конференции в рамках X Международной агропромышленной выставки "Агроуниверсал-2008". 2008. С. 17-20.

9. Быстрицкая, А.П. К вопросу очистки деталей топливной аппаратуры в ультразвуковом поле [Текст] / А.П. Быстрицкая, Ю.Н. Мачалкин / МТС. – 2001.

10. Бышов, Н.В. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №07(081). С. 480 – 490. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/36.pdf>

11. Бышов Н.В. Анализ методов диагностирования топливной аппаратуры автотракторных дизелей и разработка математической модели топливного насоса высокого давления [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Юхин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №09(123). С. 169 – 192. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/10.pdf>

12. Валова, Т.С. Модель построения и структура управляющей системы впрыска топлива двигателя внутреннего сгорания [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.11.16 / Валова Татьяна Сергеевна. - Рязань, 2017. - 135.

13. Васин, В.А. К вопросу повышения ресурса форсунок [Текст] / В.А. Васин, А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк и др. // Научная мысль. 2017. № 3. С. 74-77.

14. Веревитин, А.Ю. Способ диагностирования электромагнитных форсунок двигателей с впрыскиванием бензина [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.04.02 / Веревитин Алексей Юрьевич. - Рязань, 2010. - 143 с.

15. Волков, В.С. Особенности проведения технического обслуживания сельскохозяйственной техники [Текст] / С.В. Волков, С.С. Мешкова, Е.В. Пухов // В сборнике: Наука и образование на современном этапе развития: опыт,

проблемы и пути их решения. Материалы национальной научно-практической конференции. 2019. С. 125-128.

16. Гаврилов, К.Л. Профессиональная диагностика ДВС, систем топливоснабжения, зажигания, энергоснабжения, пуска автомобилей, дорожно-строительных и сельскохозяйственных машин [Текст] / К. Л. Гаврилов. 4-е изд. - СПб.: Федеральное Государственное Учреждение «Российский центр сельскохозяйственного консультирования», 2017. - 720 с.

17. Голямина, И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия [Текст] / И.П. Голямина. М.: «Советская энциклопедия», 1979. - 400 с.

18. ГОСТ 14846-81 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний [Текст]. – Введ. 01.01.82 – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 40 с.

19. ГОСТ 22576-90 Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.01.82. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.

20. ГОСТ 26899-86 Стенды роликовые для определения параметров тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей и колесных тракторов в условиях эксплуатации. Общие технические требования [Текст]. – Введ. 01.07.87. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

21. ГОСТ 32513-2013 Топлива моторные. Бензин Неэтилированный. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.2015. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

22. ГОСТ Р 51866-2002 Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.07.2002. - Москва : Изд-во стандартов, 2002. – 19 с.

23. Григорьев, М.В. Диагностика и обслуживание электромагнитных форсунок бензиновых ДВС [Текст] / М.В. Григорьев, А.А. Далидович; – М.: МАДИ, 2018. – 52 с.

24. Гусаков, С.В. Планирование, проведение и обработка данных экспериментальных исследований двигателей внутреннего сгорания [Текст] :

Учебное пособие / С.В. Гусаков, Н.Н. Патрахальцев. - М. : Изд-во РУДН, 2004. - 167 с.

25. Далингер, В. А. Теория вероятностей и математическая статистика с применением Mathcad [Текст] / В. А. Далингер, С. Д. Симонженков, Б. С. Галюкшов. 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. –145 с.

26. Данилов, И.К. Влияние ультразвуковой очистки форсунок и промывки инжекторной системы на увеличение мощности и крутящего момента ДВС [Текст] / И.К. Данилов, А.А. Ходяков, С.В. Хлопков // В сборнике: Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса. Материалы Национальной научно-практической конференции. – 2017. С. 69-73.

27. Денисов А.С. Основы методики инженерного эксперимента: учеб. пособие [Текст] / А.С. Денисов, В.Н. Басков. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. – 2012. 84 с.

28. Денисов, А.С. Влияние периодичности профилактики на надёжность автомобилей [Текст] / А.С. Денисов, В.Н. Басков, В.П. Захаров // Автотранспортное предприятие. – 2011. – № 1. – С. 51-52.

29. Денисов, А.С. Обеспечение надёжности автотракторных двигателей [Текст] / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. – 422 с.

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

31. Донской, А.В. Ультразвуковые электротехнологические установки [Текст] / А. В. Донской, О. К. Келлер, Г. С. Картыш. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергоиздат : Ленингр. отд-ние, 1982. - 204 с.

32. Дуев, С.И. Решение задач математического моделирования в системе MathCAD [Текст] / С.И. Дуев. - Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет". - Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. - 127 с.

33. Дьяконов, В.П. Mathematica 5.1/5.2/6 в математических и научно-технических расчетах [Текст] / В. П. Дьяконов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: СОЛОН-Пресс, 2008. - 743 с.

34. Ерохов, В. И. Системы впрыска бензиновых двигателей: конструкция, расчет, диагностика [Текст] / В. И. Ерохов. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011. - 551 с.

35. Загородских, Б.П. Снижение обводнённости дизельного топлива при эксплуатации автотракторной техники [Текст] / Б.П. Загородских, С.В. Абрамов, Д.С. Маяков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2016. № 3 (43). С. 192-196.

36. Залознов, И.П. Анализ отказов и неисправностей двигателя ЗМЗ-4062.10 и его систем [Текст] / И.П. Залознов, В.И. Рудских // Труды СибАДИ. – Омск: Изд-во СибАДИ, 1998. - Вып. 2, ч. 1. - С. 72 - 77.

37. Залознов, И.П. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей за счет обоснования периодичности обслуживания электромагнитных форсунок [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / Залознов Иван Павлович. - Омск, 2003. - 115 с.

38. Залознов, И.П. Физико-химическая сущность процессов смолообразования в топливной системе бензиновых двигателей с впрыском. [Текст] / И.П. Залознов, Н.Г. Певнев // В сборнике: Современные проблемы транспортного строительства, автомобилизации и высокоинтеллектуальные научно-педагогические технологии. Тезисы докладов на Международной научной конференции, посвященной 70-летию СибАДИ. 2000. С. 59-60.

39. Зуев, С.М. Система управления бензиновым двигателем транспортных средств [Текст] / С.М. Зуев, Ю.М. Шматков, Р.А. Малеев и др. – Москва : Изд-во Московского политеха, 2019. - 118 с.

40. Иванов, В.В. Математическое моделирование [Текст] / В.В. Иванов, О.В. Кузьмина. – Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола:ПГТУ, 2016. – 88 с.

41. Инфракар М-2Т.01.Паспорт ВЕКМ.413311.002 ПС

42. Иншаков, А.П. Исследование характеристик двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, А. Н. Кувшинов и др. - Саранск : Издательство Мордовского университета, 2019. - 87 с.

43. Иншаков, А.П. Информационные средства для повышения надежности использования мобильной техники [Текст] / А.П. Иншаков, С.С. Капитонов, И.И. Курбаков и др. // Сельский механизатор. - 2018. № 1. С. 41-43.

44. Иншаков, А.П. Экспериментальное определение характеристик обкаточно-тормозного стенда для двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники в скоростных режимах холодной обкатки [Текст] / А.П. Иншаков, Д.В. Байков, И.И. Курбаков, М.Е. Голышев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 63-71.

45. Кокорев, Г.Д. Некоторые аспекты совершенствования технической эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве [Текст] / Г.Д. Кокорев // В сборнике: Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. Министерство сельского хозяйства РФ; Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. 2015. С. 158-162.

46. Колодочкин, М. Чем залить бензин [Текст] / М. Колодочкин, А. Шабанов // За рулем. - 2012. -№3 - С.144-148.

47. Комаров, В.А. Анализ технической оснащенности предприятий и готовности техники [Текст] / В.А. Комаров, Е.А. Нуязин // Сельский механизатор. 2018. № 1. С. 12-13.

48. Коробова, Л.А. Математическое моделирование. Практикум [Текст] / Л.А. Коробова, Ю.В. Бугаев, С.Н. Черняева и др.; науч. ред. Л.А. Коробова. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. – 113 с.

49. Кувшинов, Г.И. Акустическая кавитация у твердых поверхностей [Текст] / Г.И. Кувшинов, П.П. Прохоренко. — Минск.: Наука и техника, 1990. - 111 с.

50. Кудряшов, Б.А. Ультразвуковая очистка деталей грузового автомобиля как фактор повышения эффективности ремонтных работ [Текст] / Б.А. Кудряшов, Н.В. Атаманенко, Н.С. Деев // Грузовик. 2019. № 5. С. 37-40.

51. Купряшкин, В.Ф. Стенд для определения силы тяги на ходовых колесах малогабаритной техники [Текст] / В.Ф. Купряшкин, А.С. Уланов, В.Н. Купряшкина, М.Г. Шляпников, А.Ю. Гусев, В.В. Купряшкин // Сельский механизатор. 2019. № 2. С. 38-39.

52. Курбаков, И.И. Взаимосвязь мощности и крутящего момента в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / И.И. Курбаков, В.В. Кузьмин // В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы межвузовский сборник научных трудов. - Саранск, 2016. С. 221-223.

53. Курочкин, И.М. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / И. М. Курочкин, А. О. Хренников, Д. В. Доровских. -Тамбов: Изд-во тамб. гос. техн. ун-та, 2009. 80 с.

54. Лисин, В.А. Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей путем обоснования нормативов обслуживания двухтопливной системы питания [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / Лисин Виталий Александрович. - Омск, 2005. - 120 с.

55. Лукачев, С.В. Математические модели и расчет распределения топлива в турбулентном потоке воздуха за центробежной форсункой [Электронный ресурс] / С.В. Лукачев, А.А. Диденко, И.А. Зубрилин и др. - Самара, 2011. – Режим доступа: <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Matematicheskie-modeli-i->

raschet-rasperedeleniya-topлива-v-turbulentnom-potoke-vozduha-za-centrobezhnoi-forsunkoi-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-54926

56. Ляховецкий, А.М. Статистика: учебное пособие [Текст] / А. М Ляховецкий, Е. В. Кремьянская, Н. В. Климова. - М.: КНОРУС, 2016. 362 с.

57. Магарил, Е.Р. Моторные топлива: учебное пособие [Текст] / Е.Р. Магарил, Р.З. Магарил. - 2-е изд. - М.: КДУ, 2015.-160 с.

58. Марусин, А.В. Совершенствование диагностирования плунжерных пар топливного насоса высокого давления автотракторных дизелей [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03 / Марусин Александр Вячеславович. - Саратов, 2017. - 138 с.

59. Масленников, Д.А. Исследование распада струй, формируемых форсунками в ДВС с искровым зажиганием [Текст] / Д.А. Масленников // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Материалы I Международной научной конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. 2016. Издательство: Издательство Южного федерального университета. С. 181-183.

60. Мачалкин, Ю.Н. Исследование и обоснование технологического процесса очистки деталей дизельной топливной аппаратуры моющим раствором в ультразвуковом поле (на примере распылителей форсунок) [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03 / Мачалкин Юрий Николаевич. - Москва, 2003. - 158 с.

61. Мачалкин, Ю.Н. Технологический процесс ультразвуковой очистки распылителей форсунок на ремонтных предприятиях АПК [Текст] / Ю.Н. Мачалкин. - М.: ГОСНРПП, 2003. - 28 с.

62. Мордашов, Ю.Ф. Основы надежности автомобиля: Учебно-методическое пособие [Текст] / Ю.Ф. Мордашов, Н.Н. Димов, И.В. Жустев. - Н.Новгород, ВГИПУ, 2010. – 62 с.

63. Мохрачева, Л. П. Типовые математические схемы моделирования. Примеры и задачи [Текст] / Л. П. Мохрачева. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2018. - 142 с.

64. Мухутдинов, А.Р. Основы моделирования и оптимизации материалов и процессов в Microsoft Excel [Текст] / А.Р. Мухутдинов, З.Р. Вахидова, М.Р. Файзуллина. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет, 2017. – 172 с.
65. Назаров, Д.М. Сервисы MATHCAD 14: реализация технологий экономико-математического моделирования [Текст] / Д.М. Назаров. – 2-е изд., исправ. – Москва : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. – 226 с.
66. Непайрас, Е.А. Некоторые вопросы техники ультразвуковой очистки [Текст] / Е.А. Непайрас // Акустический журнал. - 1966. - Т. VIII. вып. 1. - С. 7-25.
67. Нигметзянов, Р.И. Совершенствование технологии ремонта топливной аппаратуры на автотранспортных предприятиях с помощью ультразвука [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / Нигметзянов Равиль Исламович. - Москва, 1999. - 192 с.
68. Овчинников, Г.В. Влияние загрязнений электромагнитных форсунок на их показатели [Текст] / Г. В. Овчинников, С. А. Козлов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2007. № 4. С. 45-46.
69. Овчинников, Г.В. Влияние загрязнения и износа элементов электромагнитных форсунок на характеристики автомобильного бензинового двигателя [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.04.02 / Овчинников Григорий Викторович. - Владимир, 2009. - 144 с.
70. Овчинников, Г.В. Основные причины и последствия изменения в процессе эксплуатации расходных характеристик форсунок для впрыска бензина. [Текст] / Г. В. Овчинников, С. Г. Драгомиров, В. Ф. Овчинников // Электроника и электрооборудование транспорта. 2008. № 2. С. 36-40.
71. Остриков, В.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст] / В.В. Остриков, А.И. Петрашев, С.Н. Сазонов, А.В. Забродская; под общ. ред. В.В. Острикова. – Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 245 с.
72. Охотников, Б.Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: [Текст] / Б.Л. Охотников. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 140 с.

73. Пантюхов, В.Д. Восстановление характеристик электромагнитных форсунок для впрыскивания бензина [Текст] / В.Д. Пантюхов, И.П. Васильев // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: Проблемы, перспективы, новации. Материалы Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс. 2016. Издательство: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ) (Омск). С. 695-700.

74. Пат. № 2673649 Российская Федерация. МПК. F02М 61/10./ F02М 47/00./ F02М 61/16. Распылитель дизельной форсунки [Текст] / А.Т. Лебедев, В.В. Очинский, П.А. Лебедев, Р.В. Павлюк, А.В. Захарин, Н.А. Марьин. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Ставропольский государственный аграрный университет" - 2017126802, заявл. 25.07.2017; опубл. 28.11.2018, Бюл. № 34, - 8 с.: ил.

75. Певнев, Н.Г. Особенности конструкции и эксплуатации двигателя ЗМЗ-4062.10 [Текст] / Н.Г. Певнев, В.И. Рудских, И.П. Залознов // Труды СибАДИ. - Омск: Изд-во СибАДИ, 1998. - Вып. 2, ч. 1. - С. 33 - 40.

76. Пронин, В.Ю. Расчет исходных взаимосвязей параметров двигателя с газотурбинным наддувом в переходных процессах [Текст] / В.Ю. Пронин, А.И. Панков // Сельский механизатор. 2019. № 9. С. 14-15.

77. Пухов, Е.В. Моделирование процессов функционирования транспортных и технологических машин на примере уборки зерновых культур [Текст] / Е.В. Пухов, В.К. Астанин, В.А. Следченко, С.С. Мешкова, В.С. Волков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 3 (62). С. 19-25.

78. Пухов, Е.В. Теоретические основы моделирования движения транспортной тележки подвешенного конвейера на предприятиях технического сервиса [Текст] / Е.В. Пухов, Д.А. Горбатенко // Международный технико-экономический журнал. 2017. № 4. С. 121-125.

79. Пухов, Е.В. Техническое обслуживание сельскохозяйственной техники с использованием технологии дополненной реальности [Текст] / Е.В. Пухов, Д.А.,

Золотарев // В сборнике: Материалы Национальной научно-практической конференции "Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе", посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. 2019. С. 9-13.

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

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

82. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту системы управления двигателем ЗМЗ 4062.10 с распределенным впрыском МИКАС 5.4. [Текст]. - М.: Легион-Автодата, 2004. - 128 с: ил.

83. Савастенко, Э.А. Использование ультразвукового метода очистки деталей топливной аппаратуры дизеля [Текст] / Э.А. Савастенко, А.Л. Яковенко, А.А. Савастенко // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 4 (55). С. 22-27.

84. Савюк. С.Д. Импульсный впрыск. Поиск неисправностей и обслуживание [Текст] / С.Д. Савюк, Н.В. Бышов, Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, И.А. Юхин // В сборнике: Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых Материалы научно-практической конференции с международным участием. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». 2018. С. 168-174.

85. Салим, С. Распыливание дизельного топлива с органическими добавками [Текст] / С. Салим, С.Х.И. Абдель, В.В. Бернацкий, А.А. Ходяков, С.В. Хлопков // Известия МГТУ «МАМИ». 2019. № 2 (40). С. 14-19.

86. Салыкин, Е.А. Электронные системы управления бензиновыми двигателями [Текст] / Е.А. Салыкин, О.Д. Косов, В.И. Липилин. - Волгоград : ВолгГТУ, 2015. - 94 с.

87. Салыкин, Е.А. Диагностирование аккумуляторных топливных систем дизелей [Текст] / Е.А. Салыкин, А.А. Моисеев, А.В. Потапов // В сборнике: Научный потенциал молодежи и технический прогресс. материалы II международной научно-практической конференции. 2019. С. 32-34.

88. Салыкин, Е.А. Улучшение управления цикловой подачей топлива в дизеле малой мощности [Текст] / Е.А. Салыкин, Н.Н. Мамонтов, Д.А. Сычевников // В сборнике: Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2018. С. 47-50.

89. Салыкин, Е.А. Управление цикловой подачей топлива в модернизированной топливной системе дизеля [Текст] / Е.А. Салыкин, О.А. Карпов // В сборнике: Современные технологии в мировом научном пространстве. Сборник статей Международной научно-практической конференции : в 6 ч. 2017. С. 94-96.

90. Семькин, В.В. Применение компьютерных технологий при определении технического состояния автомобиля [Текст] / В.В. Семькин, Е.В. Пухов, В.А. Следченко // В сборнике: Материалы Национальной научно-практической конференции "Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе", посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. 2019. С. 23-27.

91. Смирнов, Ю.А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилями [Текст] / Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 619 с.

92. Струщенко, А.Л. Основные положения технического обслуживания ДВС с инжекторной системой впрыска топлива [Текст] / А.Л. Струщенко // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. -Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016, с. 1760-1763.

93. Толочко, Н. К. Кавитационные моечно-очистные технологии и их применение в сельском хозяйстве [Текст] / Н. К. Толочко, А. Н. Челединов. - Минск : БГАТУ, 2018. - 284 с.

94. Управление бензиновыми двигателями. Системы Motronic. Перевод с английского. Учебное пособие [Текст]. - М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2010. - 96 с.

95. Управление бензиновыми двигателями. Теория и компоненты. Перевод с английского. Учебное пособие [Текст]. - М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2012. - 88 с.

96. Установка для очистки и анализа топливных форсунок АЕ&Т «НР-6В». Инструкция по эксплуатации. 2012. - 18 с.

97. Фадеев, И. В. К расчету продолжительности мойки загрязненных деталей / И. В. Фадеев, В. В. Белов // Известия международной академии аграрного образования. – 2016. – Вып. №27. – С. 5-8.

98. Фадеев, И. В. Выбор рационального режима мойки деталей, узлов и агрегатов транспортных средств / И. В. Фадеев // Автотранспортное предприятие. – 2016. – №5 – С. 28 – 31.

99. Фадеев, И. В. Моющие и противокоррозионные свойства синтетических моющих средств для узлов и деталей в присутствии некоторых боратов / И. В. Фадеев, А. Н. Ременцов, Ш. В. Садетдинов // Грузовик, 2016. – №6. – 17-20.

100. Фадеев, И. В. Разработка синтетических моющих средств на основе боратов для очистки поверхности металла: монография / И. В. Фадеев, Ш. В. Садетдинов, И. Е. Илларионов; Под общ. ред. И. Е. Илларионова. – Чебоксары: Изд-во Чувашского гос. ун-та им. И.Н. Ульянова, 2016. – 185 с.

101. Фадеев, И. В. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ / И. В. Фадеев, Н. В. Бышов,

И. А. Успенский, В. В. Алексеев // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29. – № 2. – С. 295-305.

102. Фадеев, И. В. Совершенствование технологии мойки деталей при ремонте машин: монография / И. В. Фадеев, И. А. Успенский, И. А. Юхин, А. В. Шемякин; под общ. ред. И. А. Успенского. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2020. – 343 с.

103. Фатюхин, Д.С. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой очистки инжекторов [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.02.08. - / Фатюхин Дмитрий Сергеевич. - Москва, 2001. - 210 с.

104. Хернер, А. Автомобильная электрика и электроника. Перевод с нем. ЧМП РИА «СММ-пресс» [Текст] / А. Хернер, Х-Ю. Риль. - М.: ООО «Издательство «За рулем», 2013. - 624 с.

105. Хлопков, С.В. Диагностирование тягово-скоростных свойств автомобиля на стенде с беговыми барабанами [Текст] / С.В. Хлопков, И.К. Данилов, А.А. Ходяков // 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.

106. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности промышленности [Текст] / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков и др.- Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 203с.

107. Ходяков, А.А. Компонентный состав бензинов стандарта "Евро" [Текст] / А.А. Ходяков, С.В. Хлопков, Р.Х.Ю. Абу-Ниджим, В.В. Бернацкий, А.А. Шабанов // Автомобильная промышленность. 2020. № 1. С. 33-37.

108. Ходяков, А.А. Контроль рабочих параметров форсунок автотранспортных средств [Текст] / А.А. Ходяков, С.В. Хлопков, Р.Х. Абу-ниджим // Автомобильная промышленность. 2017. № 3. С. 28-30.

109. Ходяков, А.А. Физико-химические свойства дизельного топлива стандарта Евро [Текст] / А.А. Ходяков, С.В. Хлопков, В.В. Бернацкий // Журнал автомобильных инженеров. 2017. № 1 (102). С. 40-43.

110. Цифровой микроскоп Levenhuk DTX 90. Инструкция по эксплуатации. 2018. - 28 с.

111. Цэдашиев, Ц.В. О необходимости промывки и очистки форсунок инжекторной системы питания [Текст] / Ц.В. Цэдашиев // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. Материалы региональной студенческой научно-практической конференции. В 2-х томах. 2016. Издательство: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского (Молодежный). С. 253-258.

112. Черноиванов, В.И. Очистка и мойка машин и оборудования [Текст] / В.И. Черноиванов, В.Н. Лосев, А.П. Быстрицкая. - М.: ГОСНИТИ, 1998. - 99 с.

113. Шабанов, А.Ю. Особенности работы моющих присадок применительно к бензинам различного группового состава [Текст] / А.Ю. Шабанов, Ю.В. Галышев, А.Б. Зайцев, С.В. Бутуров // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2017. - №11 (71) - С.1-10.

114. Широбоков, В.И. Анализ устройств для проверки и очистки электромагнитных форсунок впрыска [Текст] / В.И. Широбоков, В.А. Баженов, В.А. Жигалов, С.В. Хохряков, А.Ю. Черепанов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. - №1 (38). - С.4-6.

115. Шишмарев, В.Ю. Надежность технических систем [Текст] / В.Ю. Шишмарев. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 306 с.

116. Яковлев, В. Б. Статистика. Расчеты в Microsoft Excel [Текст] / В. Б. Яковлев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 353 с.

117. Cartec LPS 2510. Руководство по эксплуатации. Русскоязычная редакция: 14.12.2011. - 80 с.

118. G. Chen, S. K. Aggarwal. Unsteady multiphase intake flow in a port-injected gasoline engine // SAE special publication modeling of SI and CI engines. – 1996. - SP-1168. - pp. 59-69.

119. G. Ricci, F. A. Verma. Fuel delivery system model // SAE special publication Modeling of SI and CI engines. – 1996. - SP-1168. – pp. 79-85.

120. Gogos, M. Ignition Timing Impact on the Performance of an Old Technology Vehicle Fuelled by Ethanol/Petrol Blends / Gogos, M., Savvidis, D., and Triandafyllis, J.; SAE Technical Paper 2009-01-1968, 2009

121. Gogos, M. Influence of Ignition Timing on the Exhaust Emissions of a Ford Escort Fuelled by Various Ethanol and Petrol Mixtures / Gogos, M., Savvidis, D., and Triandafyllis, J.; SAE Technical Paper 2009-24-0140, 2009

122. Hu Q. and Wu S.F., Modelling of Dynamic Responses of an Automotive Fuel Rail System, Part I: Injector // Journal of Sound and Vibration. – 2001. - 245 (5). - pp. 801-814.

123. Khlopkov, S. Research of the effect of washing of fuel system engines on traction-speed properties of cars / 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 // 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.

124. Marusin, A.V. Development of a mathematical model of fuel equipment and the rationale for diagnosing diesel engines by moving the injector needle / Marusin, A.V., Danilov, I.K., Khlopkov, S.V., Marusin, A.V., Uspenskiy, I.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 422, 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming 17–18 October 2019, Voronezh, Russian Federation.

125. Shaw C.T., Using Computational Fluid Dynamics - Prentice Hall, 1992. – 315 p.

126. Simulation of a Magnetic Injection Valve, Computer Simulation Technology CST GmbH, <http://www.cst.com>, 2007.

127. Simulator of Electron Trajectory in Solids, version 2.42, <http://www.gel.usherbrooke.ca/casino/index.html>.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«Рассвет»  
(ООО «Рассвет»)**

Юридический адрес: 391007, Рязанская область, Клепиковский район, с. Давыдово  
Почтовый адрес: 391007, Рязанская область, Клепиковский район, с. Давыдово  
ИНН 6205006283; КПП 620501001; ОГРН 1056218010782. Телефон 8 920 957 19 32

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор ООО «Рассвет»

И.И. Спесивцев

« 21 » мая 20 19 г.

М.П.



**АКТ**

**внедрения результатов диссертационной работы Хлопкова Сергея Валентиновича «Улучшение показателей двигателей автомобилей агропромышленного комплекса ультразвуковой очисткой электромагнитных форсунок».**

Комиссия в составе:

1. Спесивцев Игорь Иванович – генеральный директор
2. Федулин Андрей Николаевич - механик

подтверждает, что материалы диссертационной работы Хлопкова Сергея Валентиновича «Улучшение показателей двигателей автомобилей агропромышленного комплекса ультразвуковой очисткой электромагнитных форсунок» внедрены на ООО «Рассвет» и используются в технологическом процессе:

1. При выполнении технического обслуживания по двигателю ЗМЗ-4062.10 используется метод определения уровня загрязнений электромагнитных форсунок.
2. При техническом обслуживании автомобилей, для обеспечения безотказной работы двигателей, даются рекомендации по срокам проведения очистки электромагнитных форсунок и последовательности выполнения этих работ.
3. При выборе метода проведения работ по очистке электромагнитных форсунок используется ультразвуковая очистка.

В результате внедрения указанных изменений в технологический процесс технического обслуживания и ремонта автомобилей предполагается получение годового экономического эффекта в размере 24 000 руб. на один двигатель в год.

Подписи членов комиссии:

1. Спесивцев И.И.

2. Федулин А.Н.

продолжение приложения А

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«РУС-АВТОДОМ»  
(ООО «РУС-АВТОДОМ»)**

Юридический адрес: 117513, г. Москва, Ленинский проспект, 123А  
Фактический адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.8, корп.3  
ИНН 7728741078 КПП 772801001 ОГРН 1107746530044, телефон: (495) 645-84-88

---

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

ООО «РУС-АВТОДОМ»

С.Б. Платунов

« 15 » апреля 2019 г.

М.П.



**АКТ**

**внедрения результатов диссертационной работы Хлопкова Сергея Валентиновича на тему «Улучшение показателей двигателей автомобилей агропромышленного комплекса ультразвуковой очисткой электромагнитных форсунок».**

Настоящим актом подтверждаем внедрение на станции технического обслуживания ООО «РУС-АВТОДОМ» результатов диссертационной работы Хлопкова Сергея Валентиновича на тему «Улучшение показателей двигателей автомобилей агропромышленного комплекса ультразвуковой очисткой электромагнитных форсунок».

В частности, в ООО «РУС-АВТОДОМ» внедрены следующие результаты диссертационной работы Хлопкова С.В.:

1. Методика оценки загрязнений и последовательность технологических операций по ультразвуковой очистке форсунок.
2. Рекомендации по срокам проведения очистки электромагнитных форсунок и последовательности выполнения этих работ.

Считаем, что результаты проведенной работы актуальны для предприятий и станций технического обслуживания, эксплуатирующих и ремонтирующих электромагнитные форсунки двигателей внутреннего сгорания.

Технический директор  А.В. Бессонов

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ



**Российский университет  
дружбы народов (РУДН)**

ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198  
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Телефон: +7495 434 53 00, факс: +7495 433 15 11  
www.rudn.ru; rudn@rudn.ru

\_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_\_  
№ \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора по научной работе

Ф.А. СУВОРОВУДН

Н.С. Кирабаев

2020 г.



**внедрения результатов диссертационной работы Хлопкова Сергея Валентиновича на тему «Улучшение показателей двигателей автомобилей агропромышленного комплекса ультразвуковой очисткой электромагнитных форсунок».**

Комиссия в составе:

1. д.т.н., доцент Данилов Игорь Кеворкович, директор департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии;
2. д.т.н., доцент Коноплев Владимир Николаевич, доцент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии;
3. к.х.н., доцент Ходяков Александр Андреевич, доцент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии;
4. Семенов Вячеслав Сергеевич, заведующий лабораторией «Автотракторной техники и сельскохозяйственных машин» департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии

подтверждает, что материалы диссертационной работы Хлопкова Сергея Валентиновича «Улучшение показателей двигателей автомобилей агропромышленного комплекса ультразвуковой очисткой электромагнитных форсунок» используются в учебном процессе при чтении лекций по дисциплинам «Типаж и эксплуатация технологического оборудования», «Экологические проблемы автотранспортного комплекса», «Основы теории надежности», «Основы научных исследований» и «Методы испытаний автотранспортных средств».

На основе диссертационных исследований созданы и введены в учебный процесс лабораторные работы по дисциплинам «Методы испытаний автотранспортных средств» и «Экологические проблемы автотранспортного комплекса».

Начальник УОП

Директор Инженерной академии

О.В. Игнатьев

Ю.Н. Разумный