

*На правах рукописи*



**Марусин Александр Вячеславович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЛУНЖЕРНЫХ  
ПАР ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ  
АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в  
сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

**Научный руководитель** доктор технических наук, доцент  
**Данилов Игорь Кеворкович**

**Официальные оппоненты:** **Загородских Борис Павлович** доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», кафедра «Технического сервиса и конструкционных материалов», профессор

**Смолянов Алексей Викторович** кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», кафедра «Кафедра технического сервиса машин», доцент

**Ведущая организация** Рязанское отделение ФГБНУ ФНАЦ ВИМ  
г.Рязань

Защита диссертации состоится «21» февраля 2017 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: [www.rgatu.ru](http://www.rgatu.ru), с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации [www.vak3.ed.gov.ru](http://www.vak3.ed.gov.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент

А.В. Шемякин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В сельском хозяйстве Российской Федерации вопросы повышения эффективности эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС), снижения затрат на техническое обслуживание (ТО) и ремонт (ТР) топливopодающей аппаратуры (ТА) совершенствованием методов и средств их диагностирования являются актуальным из-за старения парка подвижного состава сельского хозяйства и недостатком инвестиций.

Анализ известных используемых систем ТА дизельных двигателей автотранспортных средств показал, что наиболее распространённой является система разделённого типа с многоплунжерным топливным насосом высокого давления (ТНВД), а способы её диагностирования трудоёмки, требуют частичной разборки и имеют недостаточную точность.

Исследование выполнено в соответствии с программой НИР ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» – 12В.01 «Разработка научных основ технологий обеспечения работоспособности автотранспортных средств».

**Степень разработанности темы.** В настоящее время диагностирование ТА дизеля осуществляется несколькими способами с применением различного оборудования. Большой вклад в повышение надёжности дизелей в эксплуатации внесли Астахов И.В., Баширов Р.М., Борычев С.Н., Бышов Н.В., Ждановский Н.С., Загородских Б.П., Кокорев Г.Д., Кравченко А.М., Лышевский И.М., Николаенко А.В., Успенский И.А., Файнлейб Б.Н. Получившие распространение методы технического диагностирования ТА дизелей, как правило, выполняются при её снятии с сельскохозяйственной мобильной техники для частичной разборки. Применение современных бесконтактных и неразборных методов диагностирования, основанных на анализе выходных параметров дизеля, функционально связанных с его структурными параметрами, позволит решить задачу снижения трудоёмкости работ, качества диагностирования, однако, они исследованы недостаточно. Имеющиеся наработки по диагностированию ТА дизелей, эксплуатируемых на тракторах и комбайнах, можно разделить на группы: диагностирование по характеристикам работы ТА; диагностирование по параметрам ТА; диагностирование по показателям работы двигателя.

Рассмотренные методы диагностирования первой группы малоинформативны и зависят от опыта и квалификации диагноста. Бестормозной и парциальный методы позволяют оценить общее техническое состояние дизеля, но контроль состояния ТА затруднён множеством факторов, влияющих на снижение мощностных и экономических показателей двигателя. Газoаналитический метод диагностирования топливopодающей аппаратуры дизеля имеет ограниченную информативность из-за ужесточения норм по содержанию вредных веществ в отработавших газах. Методика диагностирования ТА дизеля по параметрам её работы сводится к оценке качества регулировки и технического состояния основных элементов системы топливopодачи. Наиболее известным является метод контроля технического состояния плунжерных пар ТНВД по максимальному давлению впрыска топлива в атмосферу либо в глухую

замкнутую камеру. Однако данный метод непригоден для количественной оценки гидравлической плотности плунжерной пары в силу малого диапазона измеряемого давления (до 50 МПа), неизбежных утечек топлива через иглу форсунки. Поэтому разработка диагностического устройства плунжерных пар ТНВД автотракторного дизеля по перемещению иглы форсунки является одной из задач исследования.

**Цель исследований** – обеспечение работоспособности ТНВД дизельного двигателя совершенствованием диагностирования плунжерных пар.

**Объект исследований** – плунжерные пары ТНВД дизеля с разделённой системой впрыска.

**Предмет исследований** – закономерности влияния параметров плунжерных ТНВД на перемещение иглы форсунки.

**Научная новизна** диссертационной работы:

- математическая модель изменения давления впрыска топлива при перемещении иглы форсунки;
- обоснование проведения диагностирования плунжерных пар ТНВД дизеля, позволяющее снизить эксплуатационные затраты на поддержание работоспособности ДВС;
- усовершенствованный алгоритм диагностирования топливной аппаратуры дизеля с использованием предложенного диагностического параметра и средства его измерения.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретически и экспериментально определены интервальные (допустимое и предельное) значения перемещения иглы форсунки в зависимости от технического состояния ТНВД дизеля – износа плунжерной пары ТНВД и герметичности линии высокого давления (ЛВД) дизеля семейства КАМАЗ-740.

Обоснован диагностический параметр – перемещение иглы форсунки диагностического устройства, обладающий однозначностью, стабильностью, высокой чувствительностью и информативностью.

Усовершенствован алгоритм диагностирования ТА с применением разработанного устройства, обеспечивающий работоспособность дизеля своевременной регулировкой и ремонтом по результатам диагностирования.

Рекомендации по совершенствованию алгоритма диагностирования ТА дизеля для своевременного технического воздействия применялись при эксплуатации дизелей в ИП КФХ Яхин М.К.

**Методология и методы исследования.** Исследования выполнены на основе положений, законов и методов гидродинамики и математического анализа с использованием ЭВМ, в том числе с использованием программы MatLab 6.5 и пакета прикладного ПО Simulink. Обоснование конструктивных параметров и расчет эксплуатационных показателей ТА автотракторных дизелей проводились как по известным, так и по разработанным оригинальным методикам. При выполнении экспериментальных исследований использовались известные методики и разработанные на их основе частные. Экспериментальные исследования эксплуатационных показателей ТА выполнены с использованием

теории планирования полнофакторного эксперимента. Обработка результатов исследований проведена методами математической статистики.

**Положения, выносимые на защиту:**

- аналитическое уравнение взаимосвязи давления впрыска топлива и перемещения иглы форсунки;
- результаты экспериментальных исследований устройства диагностики;
- рекомендации по поддержанию ТНВД дизеля в работоспособном состоянии по результатам диагностирования с использованием разработанного устройства;
- технико-экономическая оценка результатов исследования.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность научных положений работы обусловлена обоснованностью принятых допущений при разработке математических моделей, сходимостью полученных экспериментальных результатов с аналитическими исследованиями и сравнительным анализом их с данными других авторов. Алгоритм диагностирования топливной аппаратуры дизеля и устройство диагностики прошли производственную проверку и приняты к внедрению в ОАО ИП КФХ Яхин М.К.

**Реализация результатов исследований.** Разработанное устройство диагностирования плунжерных пар топливного насоса высокого давления автотракторных дизелей применяются в ИП крестьянско-фермерское хозяйство Яхин М.К. (РФ, саратовская область, пос. Орошаемый).

Результаты исследований переданы Акционерному обществу «Саратовский автоцентр КАМАЗ» (г. Саратов, РФ), а также внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО СГТУ имени Гагарина Ю.А.

**Вклад автора в решение поставленных задач** состоит в постановке основных задач, являющихся предметом исследования, выборе методов, разработке способа и средства диагностирования плунжерных пар ТНВД топливной аппаратуры автотракторных дизелей семейства КАМАЗ, получении экспериментальных результатов, изложенных в диссертации и опубликованных в печатных изданиях

**Апробация работы.** Основные материалы диссертационной работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на международных научно-технических конференциях Саратовского ГТУ имени Гагарина Ю.А. и Саратовского ГАУ имени Вавилова Н.И., МАДИ (ГТУ), Харьковского НАДУ, Тульского ГУ, Башкирского ГАУ, Воронежской ГЛТА и Пензенского ГУАС.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 30 научных работ, в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, патент РФ на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 176 наименования, в том числе 16 источников на иностранных языках, и 2 приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста и содержит 40 рисунков, 9 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, изложены основные научные положения и практическая значимость проведенных исследований, их цель и задачи.

**В первом разделе** «Состояние вопроса и задачи исследования» рассмотрены вопросы распределения отказов дизеля по его элементам, виды топливоподающих систем автотракторных дизелей, проведён анализ способов и средств диагностирования ТА дизеля, обоснована необходимость совершенствования диагностирования ТА дизеля с разделённой системой впрыска, поставлены цели и задачи исследования.

Решению теоретических и практических задач по совершенствованию ТА дизелей проделана такими учёными как Астахов И.В., Башта Г.М., Борычев С.Н., Бышов Н.В., Грехов Л.В., Голубев И.Г., Жуковский Н.Е., Загородских Б.П., Кокорев Г.Д., Кравченко А.М., Кузнецов Т.Ф., Марков В.А., Тришкин И.Б., Трусов В.И., Успенский И.А., Файнлейб Б.Н., Шемякин А.В. и многими другими на базе различных институтов, таких как МГТУ им. Баумана, ВНИИЖТ, ТУ МАДИ, НИКТИД, МГТУ МАМИ, РГАТУ имени П.А. Костычева, ВГЛТА, ЦНИДИ, ГОСНИТИ, Могилевский и Башкирский ГАУ и др. Результаты их деятельности отражены в современных подходах к развитию диагностики, методам управления технической эксплуатацией автомобилей.

Системный анализ состояния вопроса с учётом эксплуатируемой сельскохозяйственной техники на территории РФ, оперативности и относительной трудоёмкости известных способов и средств диагностирования ТА дизеля показал недостаточную их эффективность при оценке технического состояния плунжерных пар ТНВД.

Сформулированы задачи исследования:

1. Теоретически обосновать диагностирование плунжерных пар ТНВД дизеля по перемещению иглы форсунки диагностического устройства с разработкой математической модели изменения давления подачи топлива.
2. Разработать устройство для диагностирования технического состояния плунжерных пар ТНВД автотракторного дизеля по перемещению иглы форсунки.
3. Усовершенствовать алгоритм диагностирования топливной аппаратуры дизеля с обоснованием периодичности диагностирования для увеличения его ресурса.
4. Провести расчёт экономического эффекта по результатам исследования.

**Во втором разделе** «Теоретическое обоснование совершенствования диагностирования плунжерных пар ТНВД автотракторных дизелей» разработана методика аналитического исследования, проведен анализ конструктивных особенностей систем топливоподачи автотракторного дизеля, обоснованы математические модели топливоподачи дизеля, позволяющие оценить зависимость параметров работы плунжерных пар ТНВД от перемещения иглы форсунки.

Предложена математическая модель, позволяющая оценить техническое состояние плунжерных пар ТНВД ТА дизеля в зависимости от перемещения иглы форсунки, в которой идентификацию неисправностей предлагается проводить с помощью решения обратной задачи моделирования для перемещения иглы форсунки дизеля.

Для формирования динамической диагностической математической модели использована известная математическая модель динамики перемещения иглы форсунки, в форме дифференциального уравнения второго порядка:

$$m_i \cdot d^2x_i/dt^2 = F_{дв} - k_{три} \cdot dx_i/dt - c_{pi} \cdot (x_i + x_{oi}), \quad (1)$$

$$F_{дв} = A_i \cdot p_t,$$

где  $m_i$  – масса движущихся частей форсунки, (кг);  $x_i$  – перемещение иглы форсунки, (м);  $x_{oi}$  – предварительная затяжка пружины иглы форсунки, (м);  $F_{дв}$  – движущая сила, (Н);  $k_{три}$  – коэффициент вязкого трения силы сопротивления, (Н·с/м);  $c_{pi}$  – коэффициент жёсткости пружины, (Н/м);  $A_i$  – площадь иглы форсунки, (м<sup>2</sup>);  $p_t$  – давление подачи топлива перед форсункой, (Н/м<sup>2</sup>);  $t$  – время, (с).

Применительно к рассматриваемой модели обратная задача моделирования состоит в восстановлении изменяющихся во времени значений давления топлива плунжерной парой ТНВД  $p_p$  (Н/м<sup>2</sup>) по измеряемым перемещениям иглы форсунки.

Обратная динамическая математическая модель зависимости изменения давления подачи топлива плунжерной парой ТНВД ( $p_p$ ) от перемещения, скорости и ускорения иглы форсунки, полученная из уравнения (1), имеет следующий вид:

$$p_p = [m_i \cdot d^2x_i/dt^2 + k_{три} \cdot dx_i/dt + c_{pi} \cdot (x_i + x_{oi})] / A_i + \Delta p_p, \quad (2)$$

$$p_p = p_t + \Delta p_p$$

где  $\Delta p_p$  – разница давления подачи топлива плунжерной парой и давления топлива перед форсункой, (Н/м<sup>2</sup>).

В динамических математических моделях процесса топливоподачи были учтены утечки и сжимаемость топлива на основе уравнений, описанных в работах профессора Башты Т.М.

Нами были использованы зависимости изменения давления в ТНВД и перемещения иглы форсунки во времени, преобразованные в табличную форму, затем с использованием метода математической кубической сплайн интерполяции представлены в графической форме на рисунке 1.

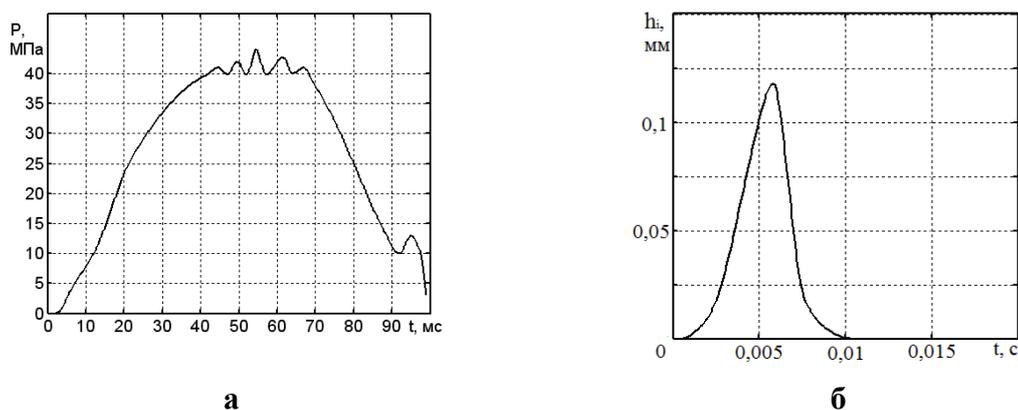


Рисунок 1 – Интерполированные изменения значений давлений топлива в ТНВД (а) и перемещений иглы форсунки (б) дизеля КАМАЗ-740.11-240

Интерполированные данные были занесены в математическую модель для решения обратной задачи моделирования динамики изменения давления подачи топлива плунжерной парой ТНВД по перемещению иглы форсунки.

Параметры дифференциального уравнения обратной математической модели (2) следующие:  $m_i = 0,0169$  кг,  $k_{tri} = 90$  кг·с/м,  $c_{pi} = 180$  кН/м.

Интегрирование математической модели осуществлялось численным методом вычислительной математики – Рунге-Кутты 4 и 5 порядка с переменным шагом интегрирования и точностью 0,001, в интервале времени 0...0,03 с.

На рисунке 2 представлены заданная – исходная и моделируемая – восстановленная по перемещению иглы форсунки зависимость изменения давления дизельного топлива под иглой форсунки дизеля КАМАЗ-740.11-240, работающего на частоте вращения  $n = 600$  мин<sup>-1</sup> без нагрузки (холостой ход).

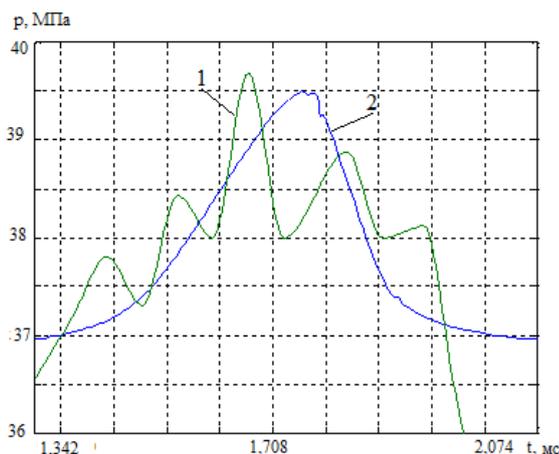


Рисунок 2 – Зависимости изменения давления в ТНВД и восстановленного моделированием давления во времени для дизеля КАМАЗ-740.11-240, работающего на частоте вращения  $n = 600$  мин<sup>-1</sup> без нагрузки: (1) – данные математической интерполяции; (2) – результаты моделирования

При сравнительном анализе графиков зависимостей изменения во времени давления подачи топлива плунжерной парой ТНВД (1) и восстановленного моделированием (2) видно, что давление топлива в ТНВД при подъёме иглы

форсунки имеет синусоидальные высокочастотные колебания с переменной амплитудой и максимальным размахом амплитуды 1,6 МПа. Алгоритм восстановления давления подачи топлива плунжерной парой по перемещению иглы форсунки не может фиксировать высокочастотные колебания давления из-за большого значения её массы. Разница максимальных значений давлений на графиках составляет 0,22 МПа (0,9%).

Проведенные аналитические исследования показывают, что использование перемещения иглы форсунки дизеля учитывает износ плунжерных пар ТНВД, что обуславливает их техническое состояние, а также плотность сопряжений ТНВД и герметичность соединений линии высокого давления (ЛВД), которые отражают техническое состояние его ТА. Теоретические расчеты подтверждены экспериментальными исследованиями.

**В третьем разделе** «Методика экспериментального исследования» представлены программа, общие и частные методики экспериментов. Программа работ включала натурные, лабораторные (активные и пассивные), эксплуатационные и модельные исследования. При этом экспериментально измерялось давление впрыска топлива анализатором топливной аппаратуры К-261 с пьезоэлектрическим датчиком измерения давления в ЛВД, размещенным в трубопроводе после ТНВД. Перемещение иглы форсунки регистрировалось на осциллографе модели ZET302 с помощью модернизированной форсунки дизельного двигателя (патент РФ на ПМ №152362) с инфракрасным оптическим датчиком перемещения иглы форсунки, который позволяет регистрировать полное перемещение иглы форсунки во времени. Сигналы регистрировались на минимальных оборотах холостого хода ( $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ ) – на этом режиме игла форсунки при открытии не «садится на упор», что снижает ошибки эксперимента при обработке результатов.

Испытания проводились в СГТУ имени Гагарина Ю.А. на стенде с двигателем КАМАЗ-740.11-240 № 028874, а также в лаборатории Саратовского Автоцентра КАМАЗ на двигателе № 045782. Испытательный стенд укомплектован анализатором топливной аппаратуры К-261 с датчиком измерения давления в ЛВД, стробоскопом и форсункой с датчиком перемещения иглы.

Результаты проведенного эксперимента показывают, что при работе дизеля на оборотах  $n = 600 \text{ мин}^{-1}$  увеличение радиального зазора плунжер-втулка ТНВД дизеля  $\Delta S$  до 10 мкм приводит к снижению максимального значения давления подачи топлива на 6,52 МПа (15,5%) и уменьшению максимального перемещения иглы форсунки на 43 %, что свидетельствует о высокой информативности данного параметра. Также при увеличении радиального зазора плунжер-втулка плунжерной пары ТНВД приводит к снижению скорости перемещения иглы форсунки и запаздыванию её полного открытия на 0,122 мс.

Эксплуатационные исследования причин отказов ТА дизеля проводились в Саратовском Автоцентре КАМАЗ на двигателях, поступающих из КФХ Саратовской области.

**В четвёртом разделе** «Разработка средства диагностирования плунжерных пар ТНВД автотракторного дизеля» приведены результаты экспериментальных исследований, предусмотренных программой эксперимента, определены режимы

диагностирования плунжерных пар ТНВД и нормативные значения диагностических параметров.

Теоретическое обоснование возможности диагностирования ТНВД автотракторного дизеля по перемещению иглы форсунки на дизеле без его демонтажа как показателя более точного и информативного позволило проанализировать и обосновать разработку устройства и технологию диагностирования. Разработано устройство с встроенным оптическим инфракрасным датчиком перемещения иглы (рисунок 3).

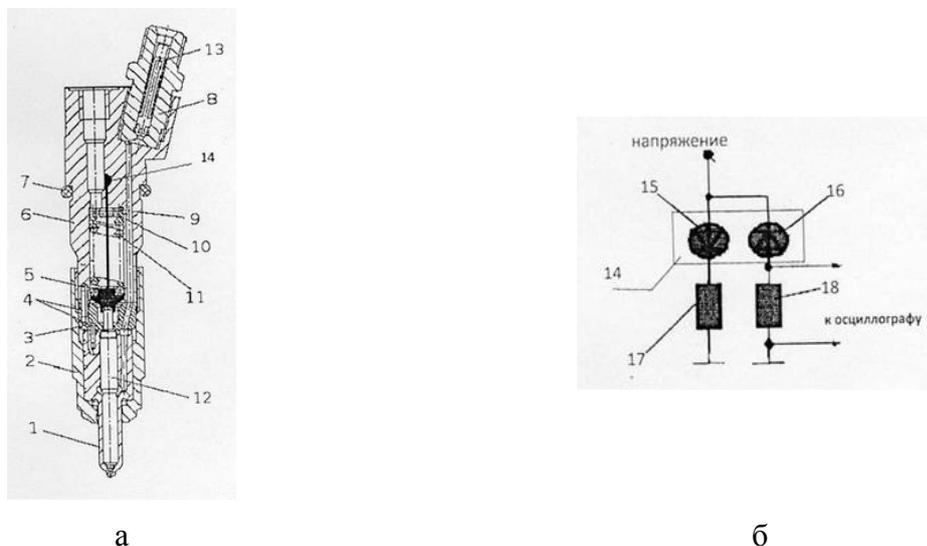


Рисунок 3 – Схема форсунки дизеля КАМАЗ-740

с инфракрасным оптическим датчиком перемещения иглы:

- а – механическая схема форсунки с инфракрасным оптическим датчиком перемещения иглы: 1 – корпус распылителя; 2 – гайка распылителя; 3 – проставка; 4 – штифты; 5 – штанга форсунки со штоком; 6 – корпус форсунки; 7 – уплотнительное кольцо; 8 – штуцер форсунки; 9, 10 – регулировочные шайбы; 11 – пружина форсунки; 12 – игла распылителя; 13 – щелевой фильтр; 14 – датчик перемещения иглы; б – электрическая схема форсунки с инфракрасным оптическим датчиком перемещения иглы: 15 – излучатель; 16 – приёмник; 17 – сопротивление для регулировки напряжения на излучателе; 18 – сопротивление для прочтения сигнала с приёмника

При диагностировании прогретый до рабочих температур двигатель КАМАЗ запускали в режиме холостого хода ( $600 \text{ мин}^{-1}$ ). На место штатной форсунки устанавливали модернизированную, с датчиком перемещения иглы. Оптический датчик перемещения иглы представляет собой систему из оптической пары, конструктивно состоящей из двух функциональных узлов, приёмника 16 и излучателя 15, и видоизменённой штанги форсунки 5, изготовленной из титанового сплава ВТ-20 ГОСТ 26492, размещённых в корпусе форсунки 6.

Штанга форсунки со штоком 5 выполнена так, чтобы шток помещался в первом отверстии и при собранной форсунке перекрывал второе отверстие на 40-60%. Шток при перемещении иглы форсунки сужает проходное сечение луча излучателя, пропорционально снижая величину светового потока к приёмнику. Это вызывает снижение напряжения на резисторе R2, значения которого измеряются осциллографом. Перемещение иглы форсунки зависит от изменения

давления впрыска топлива и технического состояния ТНВД дизеля. Для выявления информативного режима работы дизеля при диагностировании проводили экспериментальные исследования в лабораторных условиях в рабочем диапазоне частоты вращения коленчатого вала. Установлено, что при износе плунжерной пары ТНВД значение максимального перемещения иглы форсунки и давления подачи топлива снижается (таблица 1, рисунок 4).

Таблица 1 – Связь диагностического параметра – перемещения иглы форсунки, со структурным – износом сопряжения плунжер-втулка ТНВД дизеля

$h_i$ %	63	51	39,5	17
$\Delta S$ , мкм	4	6	7	10
$p_p$ , МПа	42,02	40,98	39,54	35,62

Также установлено, что при работе дизеля на минимальных оборотах холостого хода предельное состояние плунжерных пар ТНВД дизеля наступает при максимальном перемещении иглы форсунки 32%, что соответствует максимальному давлению подачи топлива 38,1 МПа и максимальному радиальному зазору плунжер-втулка ТНВД 8 мкм. Распределение значений диагностического параметра позволило определить коэффициенты экспоненциальной зависимости изменения максимальных значений перемещения иглы форсунки. Исследовалась вероятность работы плунжерных пар ТНВД дизеля по перемещению иглы форсунки. За основу принят предельный износ плунжерной пары ТНВД (увеличение среднего радиального зазора плунжер-втулка). Наблюдение в эксплуатации проводилось за 49 ДВС, поступивших в ОАО «Автоцентр КАМАЗ» (г. Саратов) из КФХ Саратовской области.

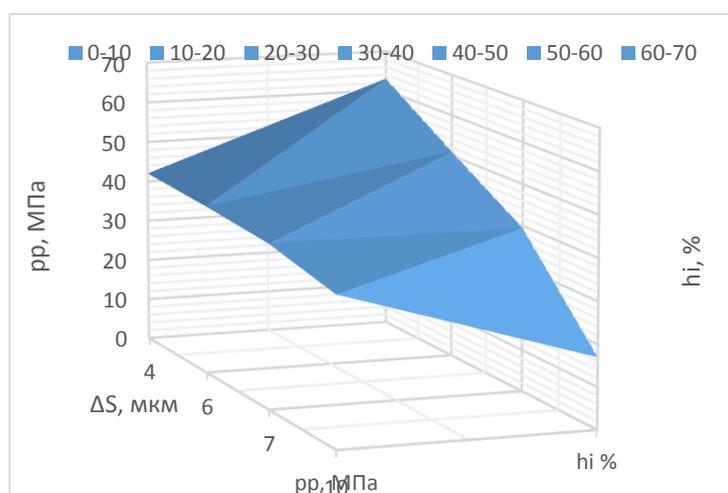


Рисунок 4 – Зависимость максимальных значений перемещения иглы форсунки ( $h_i$ ) и давлений подачи топлива ( $p$ ) от величины радиального зазора плунжер-втулка ТНВД ( $\Delta S$ )

Для анализа связи диагностического показателя (перемещения иглы форсунки) и структурного (износ сопряжения плунжер-втулка ТНВД) проводились эксплуатационные и лабораторные исследования. На основе

измерений получены величины параметров линейной зависимости диагностического параметра от структурного, которые характеризуются высоким коэффициентом корреляции (0,9) аналитических и экспериментальных данных.

Также проводилась оценка точности и эффективности диагностирования по параметру перемещения иглы форсунки(диагностического параметра) на однозначность, чувствительность, стабильность и информативность.

**В пятом разделе «Анализ результатов экспериментальных исследований»** приведены расчеты периодичности диагностирования в зависимости от суммарных удельных эксплуатационных затрат, алгоритм диагностирования и расчет экономического эффекта.

Алгоритм представлен на рисунке 5 и предусматривает диагностирование существующими и разработанным устройством.

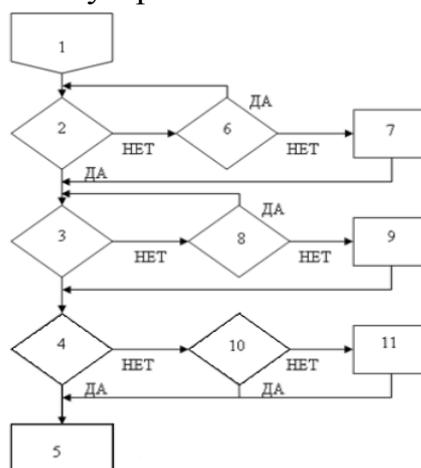


Рисунок 5– Алгоритм диагностирования двигателей КАМАЗ-740.11-240:

- 1 – внешний осмотр, прослушивание; 2 – измерение перемещения иглы форсунки;  
 3 – измерение угла опережения впрыска топлива; 4 – измерение дымности выхлопных газов; 5 – направление в эксплуатацию; 6 – проверка состояния трубопровода и фильтров; 7 – текущий ремонт/замена плунжерной пары ТНВД; 8 – регулировка угла опережения впрыска топлива; 9 – регулировка/замена муфты опережения впрыска; 10 – проверка работы форсунки; 11 – текущий ремонт форсунки.

Операция 2 может выполняться разработанным устройством. В этом случае устройство устанавливается поочерёдно в 1 и 8 цилиндры двигателя, что соответствует 8 и 1 секциям ТНВД как наиболее и наименее нагруженных соответственно. Определяются изменение давления впрыска топлива, износ плунжерной пары, потеря герметичности клапана. Также проверяется цикловая подача топлива плунжерной парой через эталонную форсунку, при необходимости выполняют регулировку.

Сверяют диагностические параметры 1 и 8 цилиндров между собой и с эталоном. В первом случае определяют разность показателей секций ТНВД для определения неравномерности подачи топлива, а разница с эталоном определяет общее отклонение от нормы, при необходимости дополнительно проверяют 5 цилиндр. При отклонении показателя более чем на 15 % требуется проведение операции 7– текущий ремонт и регулировка ТНВД с заменой плунжерных пар.

Если же разница показателей с эталонными не превышает 5 % в результате проведения профилактических работ или без них, выполняют операцию 4 – диагностику дымности выхлопных газов. Нормальным считается уровень дымности не более 50 единиц, если он выше, то необходимо выполнение операций 10 и 11.

Экономический эффект определялся снижением расходов из-за уменьшения трудоёмкости диагностирования ТА, учета расходов на проведение ТО-2, текущие ремонты по результатам диагностирования. Ориентировочно определена стоимость диагностического устройства – 56857,5 рублей. Годовой экономический эффект составит 19532,2 рублей на 1 двигатель в год.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Теоретически обосновано диагностирование плунжерных пар ТНВД автотракторного дизеля по перемещению иглы форсунки. Предложена математическая модель изменения давления подачи топлива от перемещения иглы форсунки.

2. Разработано устройство для диагностирования технического состояния плунжерных пар ТНВД топливной аппаратуры автотракторного дизеля, отличающееся блоком регистрации, инфракрасным оптическим датчиком перемещения иглы, встроенным в корпус форсунки. Установлено предельное состояние плунжерных пар ТНВД дизеля КАМАЗ-740.11.240 по максимальному перемещению иглы форсунки диагностического устройства, которое соответствует увеличению радиального зазора плунжерной пары ТНВД и максимальному значению давления подачи топлива.

3. Усовершенствован алгоритм диагностирования ТА дизеля, отличающийся измерением перемещения иглы форсунки (диагностическая операция 2 алгоритма). Обоснована периодичность его использования, что увеличит ресурс автотракторных двигателей на 11%.

4. Проведенный расчет экономического эффекта показал, что устранение неисправностей ТА по результатам диагностирования с обоснованной периодичностью позволит получить экономический эффект в размере 19532,2 рублей на один двигатель в год.

### **Рекомендации производству**

1. При проведении ТО-2 автотракторного дизеля алгоритм диагностирования необходимо дополнить диагностированием ТА предлагаемым устройством.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

1. Разработать рекомендации по наличию и количеству устройств диагностики на ремонтных предприятиях в зависимости от их производственной программы.

2. Определить перечень диагностических устройств для комплексной оценки технического состояния ТА дизеля.

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

***Статьи и издания, рекомендованные ВАК РФ:***

1. Марусин, А.В. Математическая модель процессов в плунжерной паре топливного насоса высокого давления дизеля / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Вестник СГТУ. 2013.№2(71). Вып. 2. С. 57-61.
2. Марусин, А.В. Моделирование процессов встроенной системы технической диагностики транспортного средства / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Вестник СГТУ. 2013.№2(71). Вып. 2.С. 61-66.
3. Марусин, А.В. Разработка устройства для диагностики форсунок КАМАЗ с разделенной системой впрыска / А.В. Марусин, А.В. Марусин// Научное обозрение. 12/2014.М., 2014. С. 66-69.
4. Марусин, А.В. Разработка математической модели ТНВД ДВС КАМАЗ-740.11.240 для проектирования и расчета гидравлических систем / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин// В мире научных открытий. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. № 8(68). С.125-133, ISSN 2072-0831, RSCI IF (2014) = 0,381
5. Марусин, А.В. Устройство диагностики дизелей с разделённой системой впрыска / А.В. Марусин// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 5. Ч.1. С.159-163. ISSN 2071-6168
6. Марусин, А.В. К вопросу сжимаемости дизельного топлива в трубопроводах/ А.В. Марусин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 5. Ч.1. С.153-158. ISSN 2071-6168

***Патент на полезную модель***

1. Пат. РФ на ПМ №152362, МПК F02M47/00. Форсунка дизельного двигателя внутреннего сгорания /И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин. 2015.

***В других изданиях***

1. Марусин, А.В. К разработке математической модели процессов топливного насоса высокого давления дизеля / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Международного научно-технического семинара. Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2013. С.109-114.
2. Марусин, А.В. Элементы алгоритмов встроенной системы технической диагностики дизеля транспортного средства с электрической силовой передачей / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Международного научно-технического семинара. Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2013. С.114-119.
3. Марусин, А.В. Разработка математической модели процессов, происходящих в плунжерной паре системы питания дизеля / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Транспортные системы Сибири. Проблемы безопасности:

сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, (г. Красноярск, 17-19 окт. 2013 г.). 2013. С. 249-254

4. Марусин, А.В. Моделирование процессов встроенной системы технической диагностики транспортного средства / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Материалы 72-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. М., 2014. С.113-120.

5. Марусин, А.В. Моделирование встроенной системы технической диагностики для управления рабочими процессами дизелей / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Воронежская государственная лесотехническая академия. 20-21 марта 2014 г. Воронеж, 2014. Т. 1. С.210-215.

6. Марусин, А.В. Моделирование процессов диагностики дизеля с силовой электрической передачей / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Věda a technologie: krokdobudovnosti – 2014: materiály X mezinárodnívědecko-praktickákonference. Díl 32.Technické vědy. Praha:PublishingHouse «EducationandScience» s.r.o, 2014.S. 45-50. ISBN 978-966-8736-05-6

7. Марусин, А.В. Математическая модель процессов, проходящих в топливном насосе высокого давления автотракторных дизелей / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин// Инжиниринг техно 2014: сб. тр. 2-йМеждунар. науч.-практ. конф. Саратов, 30.06-01.07.2014. Саратов, 2014. Т. 2. С. 98-104.ISBN 978-5-4426-0033-9

8. Марусин, А.В. Разработка устройства диагностики дизелей КАМАЗ с разделенной системой впрыска / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин// Инжиниринг техно 2014: сб. тр. 2 Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 30.06.-01.07.2014. Саратов, 2014. Т. 1. С. 92-97.ISBN 978-5-4426-0032-2

9. Марусин, А.В. Устройство для диагностики форсунок КАМАЗ с разделенной системой впрыска / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин// Математические методы в технике и технологияхММТТ-27: сб. тр. 27-йМеждунар.конф. Саратов, 2014. Т. 3.С.7-9.

10. Марусин, А.В. Моделирование процессов в ТНВД автотракторных дизелей / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин, А.В. Марусин// Сб. тезисов Междунар. науч. конф., посв. 90-летию проф. Н.Я. Говорущенко / ХНАДУ. Харьков, 2014. С.229-231.

11. Марусин, А.В. Инжектор топливной аппаратуры дизелей КАМАЗ с интегрированным устройством для диагностики / И.К. Данилов, И.М. Попова, А.В. Марусин// Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: материалы 11-й Междунар.заоч.науч.-техн. конф. Пенза, 01.12.2014. /ПГУАС. С.149-153.

12. Марусин, А.В. Изменение давления в плунжерной паре ТНВД автотракторных дизелей в зависимости от параметров дизельного топлива / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин, И.М. Попова, А.М. Сычёв// Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: материалы 11-й Междунар. заоч. науч.-техн. конф. Пенза, 01.12.2014. / ПГУАС.С.153-159

13. Марусин, А.В. Форсунка с интегрированным устройством для диагностики топливной аппаратуры дизелей КАМАЗ с разделенной системой

впрыска / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин// Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 20-21.11.2014 г. Вып. 1. Воронеж, 2014. С. 115-118

14. Марусин, А.В. Моделирование процессов встроенной системы технической диагностики транспортного средства / И.К. Данилов, А.М. Сычёв, А.В. Марусин, А.Х. Аскарлова// Інтеграційні процеси та інноваційні технології. Досягнення та перспективи технічних наук: збірник наукових праць (ноземнимимовами). Вип. 4 / ХАДИ. Kharkiv, 2014. С. 167-171

15. Марусин, А.В. Форсунка КАМАЗ с встроенным устройством диагностирования для топливной аппаратуры с разделённой системой впрыска / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин// Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-техн. семинара имени В.В. Михайлова. Вып. 27. Саратов: Буква, 2014. С. 48-52.

16. Марусин, А.В. К вопросу диагностики топливной аппаратуры дизелей / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин// Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: материалы 73-й науч.-метод. и науч.-исслед. конф. / МАДИ. М., 2015. С.61-65.

17. Марусин, А.В. Оценка сжимаемости дизельного топлива в трубопроводах / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин, А.М. Сычёв, И.М. Попова// Строительство, дизайн, архитектура: проектные решения XXI века: сб. материалов Междунар. науч. е-симпозиума. Россия, г. Москва, 27-28 декабря 2014 г./ под ред. проф. И.К. Данилова. Киров: МЦНИП, 2015. С.88-94. ISBN 978-5-00090-053-6

18. Марусин, А.В. Моделирование процессов диагностирования встроенной системой транспортного средства / И.К. Данилов, И.М. Попова, А.В. Марусин, А.В. Марусин, А.М. Сычёв// Актуальные вопросы транспорта в современных условиях: сб. науч. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 28 октября 2014 г. / СГТУ; отв. ред. И.К. Данилов, зам. отв. ред. И.Г. Иванов. Саратов, 2014. С. 34-38.

19. Марусин, А.В. Анализ применяемых алгоритмов встроенной системы технической диагностики дизеля транспортного средства с электрической силовой передачей / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин, И.М. Попова, А.М. Сычёв// Актуальные вопросы транспорта в современных условиях: сб. науч. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 28 октября 2014 г. / СГТУ; отв. ред. И.К. Данилов, зам. отв. ред. И.Г. Иванов. Саратов, 2014. С. 70-74.

20. Марусин, А.В. Снижение трудоемкости устранения отказов применением устройства для диагностики форсунок КАМАЗ / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин// Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. Т. 65. С.86-89. ISBN 978-5-9961-1030-8

21. Марусин, А.В. Development of a mathematical model for the design and calculation of the indicators of a diesel engine fuel system / И.К. Данилов, А.В. Марусин, И.М. Попова, А.В. Марусин// Proceedings of the XII International Academic Congress "Science, Education and Technology in the Modern World" (United

States, Cambridge, Massachusetts, 18 - 20 April 2015). Volume III. "Harvard University Press", 2015. - p.95-101. ISBN: 978-0-865-83925-7

22. Марусин, А.В.

Зависимость давления в плунжерной паре ТНВД автотракторных дизелей от свойства топлива / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин, И.М. Попова // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 7-8 апреля 2016 г.: в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. В.В. Минина. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2016. С. 395-401. ISBN 978-5-7638-3458-1 (ч. 2), ISBN 978-5-7638-3449-9

23. Марусин, А.В. Разработка устройства встроенного диагностирования топливной аппаратуры дизелей КАМАЗ / И.К. Данилов, А.В. Марусин, А.В. Марусин, И.М. Попова // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 7-8 апреля 2016 г.: в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. В.В. Минина. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2016. С. 404-407. ISBN 978-5-7638-3458-1 (ч. 2), ISBN 978-5-7638-3449-9

24. Марусин, А.В. Решение обратной задачи моделирования динамики движения массы, подвешенной на пружине в SIMULINK / А.В. Марусин, А.М. Сычёв // Проблемы управления, обработки и передачи информации (АТМ-2013): сб. тр. III Междунар. науч. конф.: в 2 т. / СГТУ. Саратов, 2013. Т. 1. С. 167-171.

Подписано в печать 15.11.16

Формат 60×84 1/16

Бум. офсет.

Усл. печ. л. 1,0

Уч.-изд. л. 1,0

Тираж 100 экз.

Заказ

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет

410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Отпечатано в Издательстве СГТУ. 410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Тел.: 24-95-70; 99-87-39, e-mail: izdat@sstu.ru