

На правах рукописи

БОДЯКИНА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ
ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО
ДАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОТИВОЗАДИРНОЙ
ПРИСАДКИ В ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства
технического обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск, 2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Бураев Михаил Кондратьевич

**Официальные
оппоненты:**

Старцев Андрей Васильевич
доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Южно-Уральский государственный аграрный университет, профессор кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие»

Кочергин Виктор Иванович
доктор технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «26» мая 2022 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.278.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН) по адресу: 630501, а/я 463, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск-1, СФНЦА РАН.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью вашего учреждения, просим направлять в диссертационный совет по адресу: 630501, а/я 463, Новосибирская обл., Новосибирский район, р.п. Краснообск-1, СФНЦА РАН. Телефон (факс): 8(383)348-12-09; e-mail: aspsibime@ngs.ru

С диссертацией можно ознакомиться в СибНСХБ, автореферат и диссертация размещены на сайтах: www.sfscs.ru, <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Н.Н. Назаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основным видом моторного топлива, применяемым в современных двигателях внутреннего сгорания (ДВС), используемых в АПК является - дизельное топливо. В ДВС моторное топливо является не только источником тепловой энергии, оно выполняет ряд других функций, имеющих прямое отношение к обеспечению долговечности и экономичности двигателя. В частности, моторное топливо в дизельной топливной аппаратуре используется, как рабочая жидкость, и как смазывающая среда для трущихся пар топливоподающей аппаратуры и т. д. Недостаточная смазочная способность дизельного топлива, является причиной отказа рабочих элементов дизельной топливной аппаратуры ДВС, а именно плунжерных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД). На отказы плунжерных пар ТНВД приходится от 20 до 35 % всех отказов двигателя. Отказ плунжерных пар происходит вследствие износа, задира и схватывания материалов деталей прецизионных пар.

Одним из направлений обеспечения работоспособного состояния и ресурса плунжерных пар дизельной аппаратуры является применение противозадирной присадки в дизельное топливо. В настоящее время такие присадки в дизельном топливе не используются. Однако, в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют сведения о химмотологическом составе противозадирной присадки. В связи с этим в диссертационной работе предлагается использование противозадирной присадки на основе этилентриглицерина гидроксид водорода. Такая присадка состоит из смазывающего компонента, окислителя и стабилизатора горения топлива. Применение противозадирной присадки способствует адсорбированию граничных пленок на трущихся поверхностях прецизионных пар. Противозадирная присадка к дизельному топливу, состоящая из полярных молекул цепного строения, обладает высокой прочностью на сжатие, упругостью и при наличии нормального давления обеспечивает возможность скольжения в результате сдвига по плоскостям, образованными концевыми группами молекул. Прочность структурированной пленки возрастает с увеличением давления, что способствует предотвращению контакта трущихся поверхностей.

Компоненты присадки обладают, как высокой смазывающей способностью, так и способностью увеличения энергетической способности дизельного топлива.

Диссертационная работа, направленная на обеспечение работоспособного состояния плунжерных пар топливного насоса высокого давления применением противозадирной присадки в дизельное топливо, является актуальной.

Научная гипотеза: использование низкокипящих углеводородных жидкостей способствует изменению условий трения прецизионных пар, что в конечном итоге приводит к изменению показателя работоспособного состояния.

Степень разработанности темы. Противозадирные присадки востребованы практически во всех областях, где работает тяжелое оборудование и машины: в тяжелой промышленности, металлургии и металлообработке, станкостроении, авиа- и судостроении, автомобильном производстве, строительстве,

энергетике. Вместе с тем, разработка и применение данного вида присадок в энергосредствах АПК весьма затруднительна из-за их относительной дороговизны, а недостаточность полного научного исследования проблемы не способствует широкому использованию противозадирных присадок в двигателях сельскохозяйственных тракторов.

Приведенные выше аргументы дают основания для проведения научных исследований по оценке влияния противозадирной присадки на работоспособность ТНВД и на базе полученной информации разработки производственных рекомендаций.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ им. А.А. Ежовского», по обеспечению работоспособности машин в сельском хозяйстве путем совершенствования технологии и организации технического сервиса (№ государственного учета АААА-А20-1200226900007-1) и соответствует паспорту специальности 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве.

Цель исследования: Обеспечение работоспособного состояния плунжерных пар топливного насоса высокого давления с использованием противозадирной присадки на основе этилентриглицерина гидроксида водорода в товарное летнее дизельное топливо.

Задачи исследования:

1. Обосновать выбор и компонентный состав противозадирной присадки в товарное летнее дизельное топливо.

2. Обосновать показатель работоспособного состояния плунжерной пары топливного насоса высокого давления с учетом эксплуатационных свойств товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой.

3. Выявить зависимость между эксплуатационными свойствами товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой и показателем работоспособного состояния плунжерной пары топливного насоса высокого давления.

4. Провести сравнительные стендовые и ресурсные эксплуатационные испытания плунжерных пар на товарном летнем дизельном топливе с противозадирной присадкой и оценить экономическую эффективность результатов исследования.

Объект исследования: процесс изменения работоспособного состояния плунжерных пар топливного насоса высокого давления с противозадирной присадкой в товарное летнее дизельное топливо.

Предмет исследования: зависимости и закономерности, определяющие работоспособное состояние плунжерных пар топливного насоса высокого давления применением противозадирной присадки в товарное летнее дизельное топливо.

Научная новизна:

- функциональная модель показателя работоспособного состояния плунжерной пары с учетом эксплуатационных свойств летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой;

- результаты экспериментальных исследований с учетом эксплуатационных свойств летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой;
- результаты производственных испытаний плунжерных пар топливных насосов высокого давления при использовании летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой.

Практическая значимость:

Использование летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой позволяет увеличить ресурс плунжерных пар ТНВД с 1230 до 2214 часов; разработанные рекомендации по использованию топлива для двигателей тягового класса 14 кН; полученные результаты по подбору компонентного состава присадки в дизельное топливо; разработанные рекомендации по применению противозадирной присадки в дизельное топливо.

Методология и методы исследования:

- использованы численные методы для расчета компонентного состава присадки в дизельное топливо и показателя работоспособного состояния плунжерных пар;
- в экспериментальных исследованиях применены статистический и регрессионный анализ для обработки экспериментальных данных.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

- функциональная модель показателя работоспособного состояния плунжерной пары с учетом эксплуатационных свойств летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой;
- результаты экспериментальных исследований с учетом эксплуатационных свойств летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой;
- результаты производственных испытаний плунжерных пар топливных насосов высокого давления при использовании летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой.

Достоверность полученных результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается результатами статистической обработки экспериментальных данных, достаточной сходимостью их с результатами стендовых испытаний плунжерных пар топливного насоса высокого давления.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы при техническом сервисе машин в ИП КФХ Тронц М.А., в ИП КФХ Пальчик А.П. Иркутской области, а также в учебном процессе Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского. Результаты исследований могут быть использованы в совершенствовании подготовки механизаторских кадров.

Апробация работы.

Положения диссертации были доложены и одобрены:

- на научном семинаре в Иркутском ГАУ (2016 г.);
- на научно - практических конференциях с международным участием «Чтения И. П. Терских» (г. Иркутск, Иркутский ГАУ 2017 - 2021 гг.);
- на научных студенческих конференциях «Научные исследования студентов в решении актуальных проблем» (г. Иркутск, Иркутский ГАУ, 2016 - 2019 гг.);
- на международной научно-практической конференции «Климат, эколог-

- гия, сельское хозяйство Евразии» (г. Иркутск, Иркутский ГАУ, 2017, 2018 гг.);
- на научно-практических конференциях ППС Восточно-Сибирского государственного технологического университета технологий и управления (г. Улан-Удэ, 2017 - 2019 гг.);
 - на научно-практической конференции молодых ученых (г. Иркутск, Иркутский ГАУ, 28-29 марта 2019 г.);
 - на международной научно-технической конференции «Научно-техническое обеспечение АПК Сибири» (г. Новосибирск-р.п. Краснообск, СибИМЭ СФНЦА РАН, 2019г.);
 - на научном семинаре (г. Новосибирск-р.п. Краснообск, СибИМЭ СФНЦА РАН, 2020, 2021 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ и 1 статья из международной базы цитирования Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и рекомендаций, библиографического списка из 199 наименований, в том числе 10 на иностранном языке и 8 приложений. Объем работы составляет 140 страниц и включает в себя 11 таблиц, 62 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной работы, дано ее краткое содержание, сформулирована цель работы, объект и предмет исследования, научная гипотеза и новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследования» приведен анализ литературы по обеспечению работоспособного состояния плунжерных пар топливного насоса высокого давления при использовании дизельного топлива и присадок к нему, и их влияние на техническое состояние деталей дизельной топливной аппаратуры.

В работах Борисенко Н.Е., Габитова И.И., Кривенко П.М., Попова В.Я., Вагнера В.А., Фейнлейба Б.Н. и др. проведен детальный анализ различных видов топлива, влияющих на изменение технического состояния и производительности дизельного топливного оборудования, с точки зрения мощности и эксплуатационных параметров. В этих, а также работах Ашишина А.А., Турина Т.Ю., Кривенко П.М., Медникова И.М., Мылова А.А., Шишова А.В., Шарифуллина С.Н., Уханова А.П. и др. было установлено, что надежность деталей дизельной топливной аппаратуры остается низкой из-за их износа. Ротанов Е.Г. и Хохлов А.А. и др. утверждают, что основная доля постепенных отказов в ТНВД приходится на прецизионные узлы. Даже незначительные отклонения от таких параметров, как угол опережения впрыска топлива, величина цикловой подачи и давление впрыска топлива в форсунке вызывают износ деталей двигателя. Для уменьшения негативного влияния было рекомендовано использовать различные присадки к моторному топливу, в том числе биодобавок в виде растительного масла. Выявлено, что вязкость у летних дизельных топлив значительно меньше, чем у масел. Несмотря на это, масла

уступают дизельному топливу с точки зрения полноты сгорания и развития эффективной мощности. Одним из перспективных топлив при эксплуатации является биодизельное топливо, водотопливная эмульсия, эфиры и др. Применности этого топлива в дизельных двигателях посвящены работы Горелика Г.Б., Девянина С.Н., Маркова В.А., Нагорного С.А., Орсика С.Л., Савельева Г.С. и других. В этих работах зафиксировано, что вязкость биотоплива уменьшается из-за образования сложных метиловых и этиловых эфиров из растительных масел. В работах Горелика Г.Б., Ликсутиной А.П. и др. было отмечено, что растительные масла содержат органические соединения, сложные эфиры глицерина, моно- и диацилглицерин. Метиловые эфиры рапсового масла и дизельного топлива смешиваются в разных пропорциях и образуют стабильные смеси.

Причиной механического износа материалов плунжерной пары является металлический контакт, возникающий в результате контактного давления между деталями и является следствием вытеснения из зазора смазывающей жидкости (а именно дизельного топлива). Причем величина контактных напряжений подчиняется закону Герца, и увеличивается в зависимости от перемещения плунжера в соответствии с законом движения кулачка распределительного вала.

Как показали исследования Горбаневского В.Е., в подавляющем большинстве случаев ухудшение параметров впрыскивания топлива связано с проблемами трения и изнашивания пар трения топливной аппаратуры.

Горбаневским В.Е. и Кисловым В.Г. выявлено, что чаще наибольший износ прецизионной поверхности плунжера наблюдается на его головке со стороны, противоположной рабочей отсечной спирали, т.е. в зоне, где воздействие максимальных прижимающих усилий (создаваемых давлением 50...80 МПа) ударного характера (период нарастания давления) накладывается на воздействие максимальной (2...4 м/с) скорости движения плунжера на каждом рабочем цикле.

Проведенные нами исследования заклинивания плунжерных пар 36 рядных насосов типа MW комбайновых дизелей (наработка насосов 746...2740 моточасов) показали, что, как правило, в рядных насосах происходит заклинивание одной, редко - двух плунжерных пар. Следует отметить, что остальные плунжерные пары насоса при этом имели хорошее состояние поверхностей, без видимых повреждений и пятен. Проведенный поэлементный анализ линии нагнетания отказавших секций выявил, что при закоксовывании сопел распылителей форсунки в линии высокого давления наблюдается эффект гидроудара. Так как ТНВД типа MW имеют высокие давления нагнетания и плунжер является неуравновешенным (отсутствует симметрическая канавка по отношению к отсечной), в результате происходит заклинивание плунжерной пары.

Антипов В.В., Бахтияров Н.И., Загородских Б.П. и др. отмечают, что рабочие поверхности плунжеров и втулок изнашиваются абразивными частицами, содержащимися в топливе.

Исследования, проведенные ЦНИТА, показали, что износ плунжерной пары имеет локальный характер, в районе впускного и выпускного окон. Общая величина изношенной поверхности трения не превышает 5%, а характер мик-

ронеровностей на ней указывает на износ от абразивных частиц, которые вместе с топливом поступают в надплунжерное пространство при всасывающем ходе плунжера. При нагнетательном ходе часть топлива вытекает обратно в наполнительное отверстие, причем по ходу плунжера поток топлива дросселируется, что сопровождается ростом давления в надплунжерном пространстве и резким нарастанием скоростей перетекания.

Свидетельствуют многочисленные результаты наблюдений процессов трения в жидких средах, такие характеристики как износ, сила трения, критическая нагрузка зависят от качества и количества образующихся в процессе самого трения поверхностных пленок. Эти пленки являются как продуктами взаимодействия компонентов жидкой среды и металлов поверхностей трения, так и продуктами окислительных, деструкционных и других процессов, происходящих на поверхностях трения или в зоне трения с компонентами жидкой среды. Таким образом, характеристики процессов трения металлов зависят от свойств низкомолекулярной углеводородной жидкости.

Экспериментальное определение зависимостей величины критических нагрузок перехода к схватыванию от температуры углеводородов различных классов показало, что значение этих нагрузок при трении в Н-парафиновых и изопарафиновых углеводородах минимальны и близки между собой.

При трении в нафтеновых углеводородах критическая нагрузка существенно выше. При испытании ароматических углеводородов схватывание металлов обнаруживается только при очень больших нагрузках. При объемной температуре 60⁰С величина критической нагрузки ниже, чем при 20⁰С во всех испытаниях углеводородах.

В низкомолекулярных углеводородных жидкостях всегда присутствуют кислородные соединения в результате неполного их удаления при очистке или вследствие автоокисления при хранении и транспортировке. Для исследования влияния кислородных соединений на процессы трения и износа металлов были использованы нейтральные кислородные соединения: спирты, альдегиды, эфиры, кетоны, а также жирные и нафтеновые кислоты. По физико-химическим свойствам эти кислородные соединения близки к соединениям, присутствующим в топливах. Кислородные соединения добавлялись в топливо Т-7, предварительно очищенное на активированном силикагеле марки АСК.

Результаты испытаний показали, что добавка 0,001 – 0,05 % масс. спиртов, эфиров и кетонов не оказывает существенного влияния на смазывающие свойства углеводородной жидкости.

Значительное улучшение смазывающих свойств отмечено при добавлении 0,01 % масс. алифатических альдегидов. Дальнейшее повышение концентрации альдегидов приводит к снижению смазывающих свойств углеводородной жидкости.

Минеральная жидкость находит широкое применение в специальной наземной технике и гидросистемах воздушных судов. По условиям работы жидкость в отличие от реактивных топлив длительное время находится в системе и многократно проходит через пары трения, подвергаясь воздействию высоких локальных и объемных температур и давлений. В жидкости во время

работы могут происходить накопление продуктов окисления, а также через довольно продолжительные отрезки времени образования нерастворимых твердых продуктов износа трущихся элементов системы.

Во второй главе «Теоретическое обоснование обеспечения работоспособного состояния плунжерных пар дизельной топливной аппаратуры» приведены: математическая модель определения зазора в плунжерной паре и обоснование показателя работоспособного состояния плунжерной пары.

Линейный закон изменения утечек через плоскую щель рассматривается в общем курсе гидравлики, справедлив только при целом ряде ограничений. Так, поток должен быть изотермичен, рабочая жидкость несжимаема, подчиняясь закону Ньютона о вязком трении, а ее вязкость должна быть независима от давления. На самом деле, даже при установившемся потоке рабочей жидкости, подчиняющейся закону Ньютона о силах вязкого трения, при проходе через плоскую щель потери напора сопровождаются выделением тепла, что приводит к повышению температуры и соответствующему уменьшению сил вязкого трения. Рабочая жидкость сжимаема. Вязкость рабочей жидкости зависит от давления.

Влияние термического эффекта на просачивание рабочей жидкости через плоскую щель рассмотрено одновременное воздействие термического эффекта и упругой деформации рабочей жидкости. Влияние температуры, давления и упругой деформации на вязкость и плотность рабочей жидкости аппроксимируется уравнениями, соответственно составляющими систему

$$\begin{cases} \mu = \mu_0 \exp \left[\frac{p - p_0}{p_\mu} - \frac{t - t_0}{t_\mu} \right], \\ \rho = \rho_0 \left[1 - \alpha(t - t_0) - \beta(p_0 - p) \right], \end{cases} \quad (1)$$

где индекс «ноль» относит величины к начальным условиям; p_μ , t_μ - соответственно вязкостное давление и вязкостная температура; α и β - соответственно коэффициенты влияния температуры и давления на плотность жидкости.

Просачивание рабочей жидкости через плоскую щель описывается уравнением Навье-Стокса

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}, \quad (2)$$

где x - координата, направленная по линии тока; z - координата, нормальная к x и стенкам щели.

В качестве показателя работоспособного состояния плунжерных пар в ТНВД для исследования принята оценка гидравлической плотности на номинальном и пусковом режиме работы топливного насоса высокого давления.

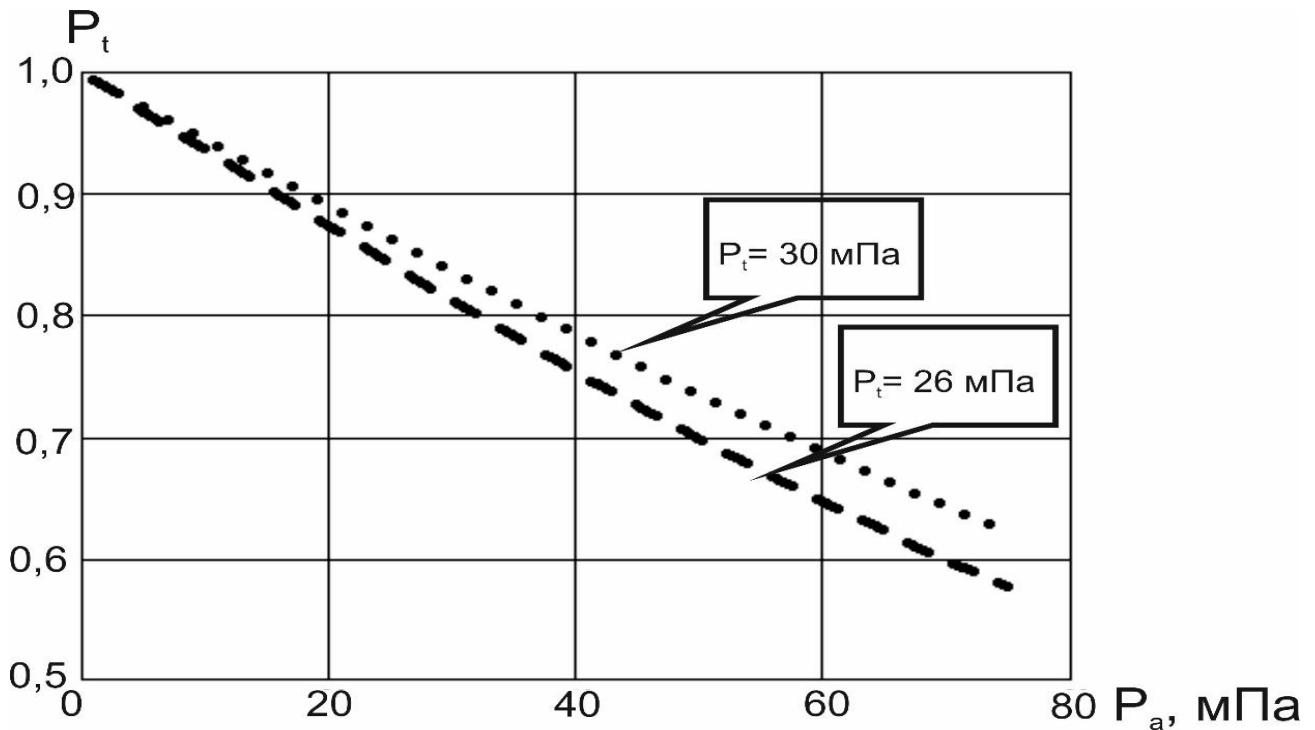


Рисунок 1 – Характеристика плоской щели между втулкой и плунжером

Величина \bar{P}_t существенно падает с ростом начального значения давления p_0 , как показано на Рисунке 1 для $p_t = 26$ и 30 Мпа.

Если эквивалентная щель находится под воздействием напорного давления рабочей жидкости, то выражение момента жидкостного трения меняется:

$$M_2(M_0; p_\mu) \rightarrow \exp\left(-\frac{p}{p_\mu}\right)M_0, \quad (3)$$

и тогда, руководствуясь экспериментально подтверждаемым соотношением, можно принять при составлении математической модели выражение расхода просачивания в форме

$$Q_2(Q_0; p_\mu) \rightarrow \frac{Q_0}{\exp\left(-\frac{p}{p_\mu}\right)}. \quad (4)$$

В третьей главе представлена программа и методика исследования.

За методологическую базу исследований были приняты отечественные и зарубежные исследования в области обеспечения работоспособного состояния деталей прецизионных пар эксплуатируемых в среде углеводородных жидкостей.

В соответствии с поставленными задачами программа экспериментальных исследований включала в себя этапы:

- выбор и обоснование компонентов противозадирной присадки к летнему дизельному топливу;
- проведение лабораторных сравнительных ресурсных испытаний на товарном дизельном топливе и дизельном топливе с противозадирной

присадкой;

- оценка гидравлической плотности плунжерных пар;
- проведение эксплуатационных производственных испытаний плунжерных пар с противозадирной присадкой в дизельное топливо.

Программой экспериментальных исследований предусматривалась разработка и совершенствование следующих методик:

- методики подбора компонентов противозадирной присадки и процесса получения готового моторного топлива;
- методики оценки стабильности компонентов присадки в дизельном топливе;
- методики оценки эксплуатационных свойств дизельного топлива с противозадирной присадкой;
- методики сравнительных ресурсных испытаний плунжерных пар топливного насоса высокого давления;
- методики оценки гидравлической плотности плунжерных пар топливного насоса высокого давления;
- методики эксплуатационных и стендовых испытаний плунжерных пар в топливном насосе высокого давления двигателя Д-240.

Методика подбора компонентов противозадирной присадки в летнее товарное дизельное топливо основывалось на кластерном анализе существующих компонентов численного моделирования. Численное моделирование предусматривало, моделирование плотности многокомпонентных углеводородных жидкостей и теплотворной способности топлива с противозадирной присадкой.

Оценка стабильности присадки в дизельном топливе осуществлялась в статическом и динамическом режимах.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований и их анализ. Результаты исследования кинематической вязкости товарного летнего дизельного топлива приведены на Рисунке 2. График изменения кинематической вязкости товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой приведен на Рисунке 3.

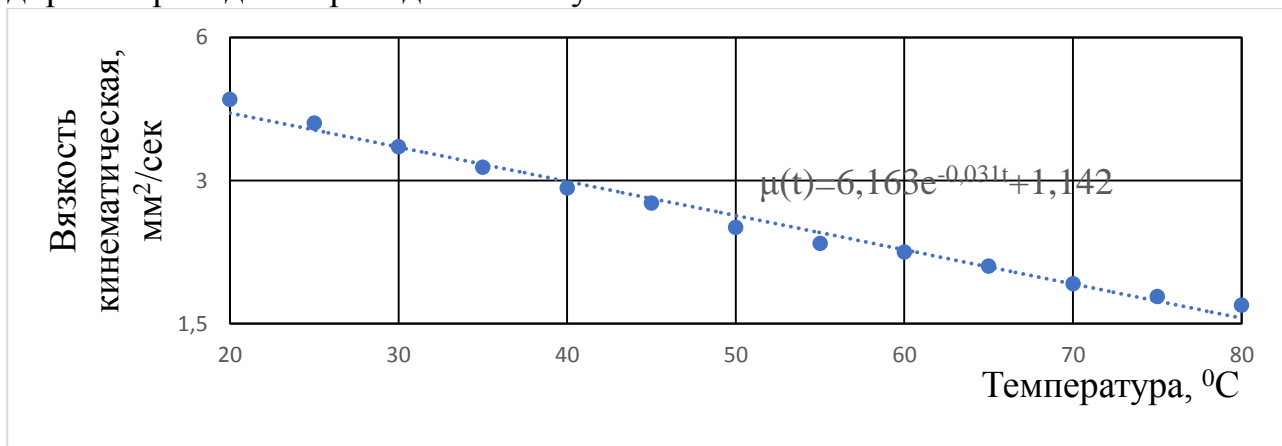


Рисунок 2 – График зависимости изменения кинематической вязкости летнего дизельного топлива от температуры

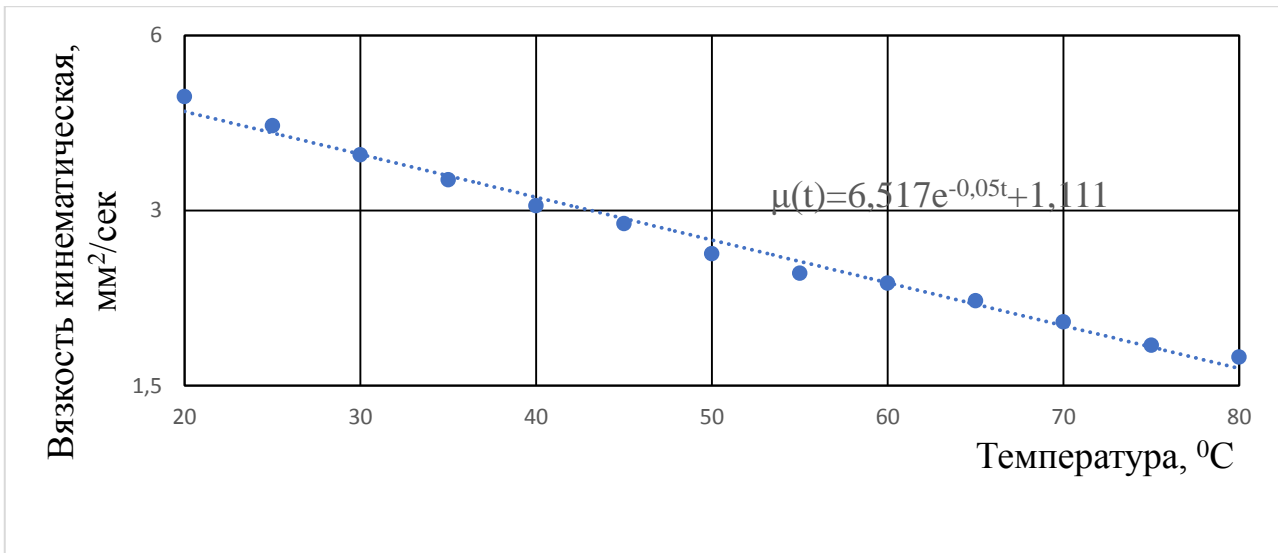


Рисунок 3 – График зависимости изменения кинематической вязкости товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой от температуры

Анализ графиков свидетельствует о температурной зависимости изменения вязкости моторных топлив. Причем, с повышением температуры уменьшается величина кинематической вязкости.

Результаты исследования плотности товарного летнего дизельного топлива и товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой приведены на Рисунке 4.

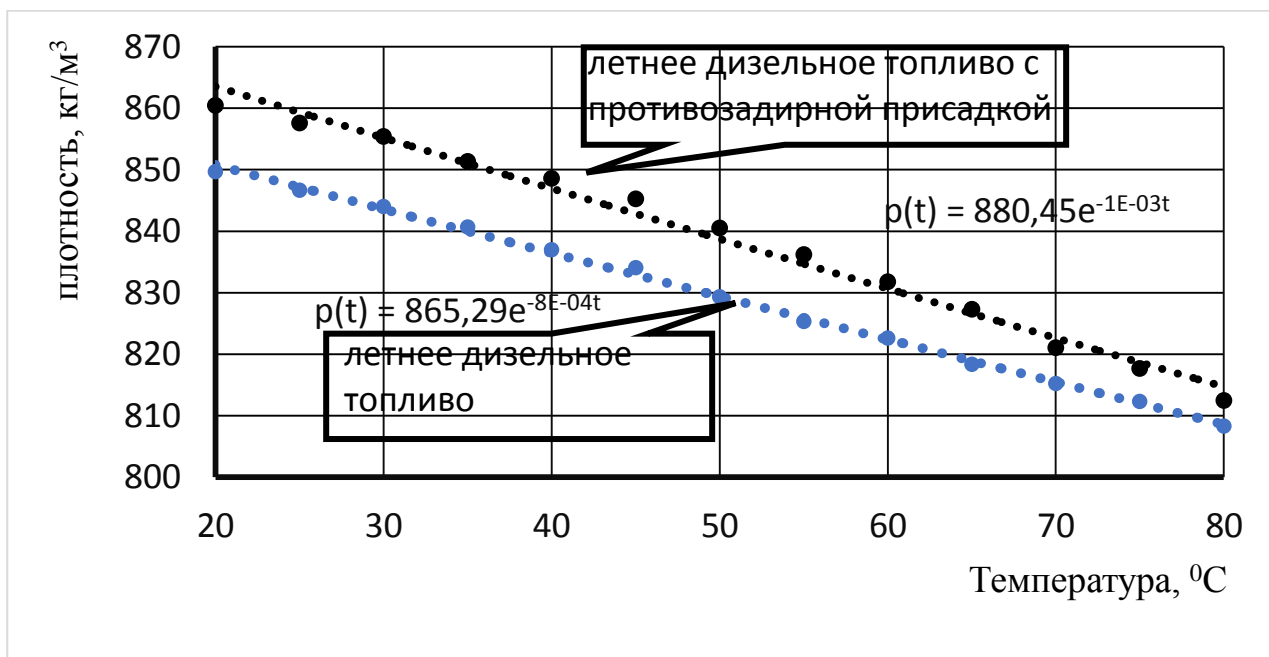


Рисунок 4 – График зависимости изменения плотности товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой от температуры

Анализ данных графиков показывает, что плотность топлива различается на 2-5 % в зависимости от изменения температуры.

Результаты экспериментальных исследований определения вязкостно-температурной зависимости свидетельствуют, что возможна эксплуатация топливного насоса высокого давления на товарном летнем

дизельном топливе с противозадирной присадкой без переоборудования и конструктивного изменения его систем.

Для оценки данных об изменении величин подачи топливного насоса и контроля за техническим состоянием прецизионных деталей, через каждые 10 ч хода эксперимента, отслеживалась подача топлива на номинальном и пусковом режиме работы.

Величины изменения цикловой подачи топлива, в отношении от вида применяемого топлива, приведены на Рисунках 5, 6.

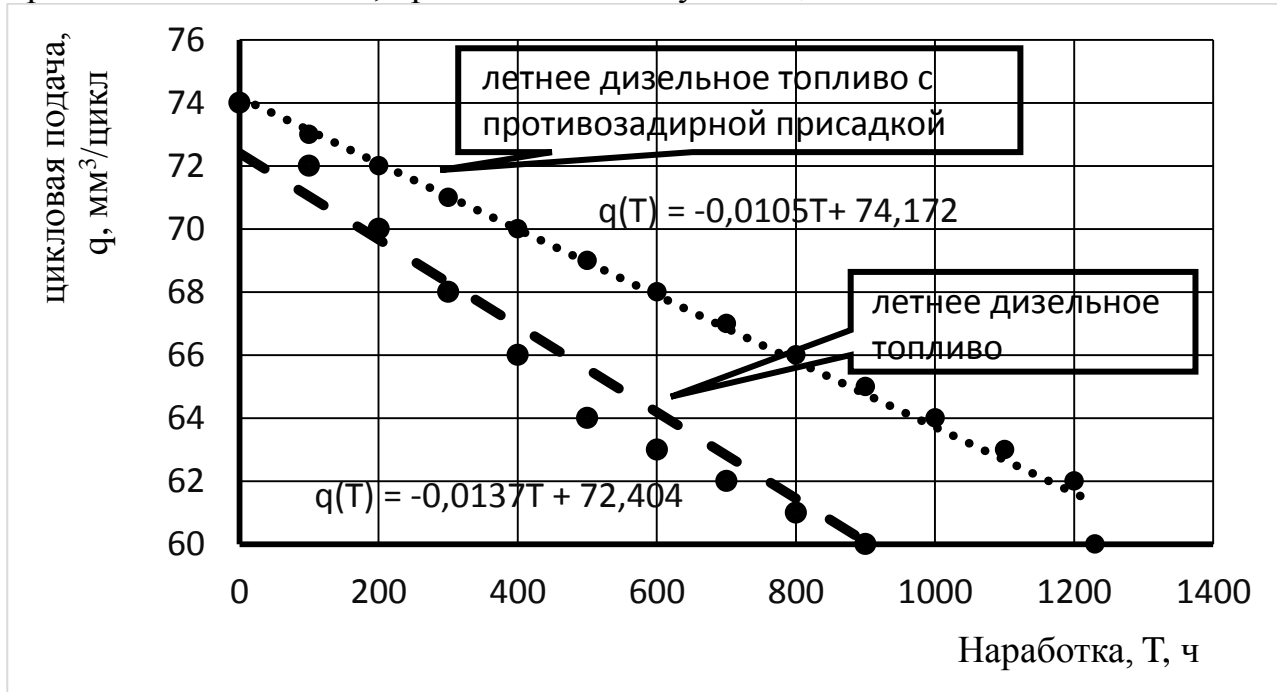


Рисунок 5 – График изменения цикловой подачи топлива в зависимости от наработки (пусковой режим работы)

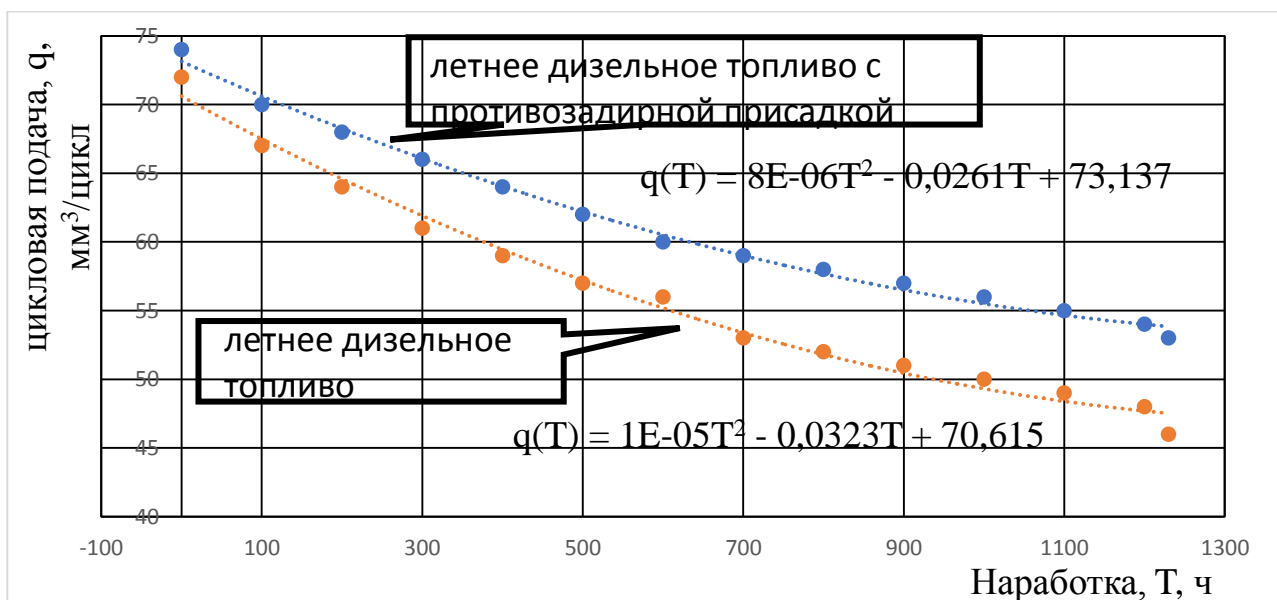


Рисунок 6 - График изменения цикловой подачи топлива в зависимости от наработки (номинальный режим работы)

По окончании экспериментальных исследований, полученные результаты изменения цикловой подачи на пусковой частоте вращения вала насоса, в зависимости от используемого вида топлива, были аппроксимированы кривой второго порядка.

При обработке результатов экспериментальных исследований получили зависимости, характеризующие закономерность изменения цикловой подачи от наработки и вида топлива:

$$\text{Летнее ДТ} \quad q = 0,00001t^2 - 0,0323t + 70,615 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &\text{Летнее ДТ с противозадирной присадкой} \\ &q = 0,000008t^2 - 0,0261t + 73,137 \quad (6) \end{aligned}$$

Погрешность аппроксимации кривых экспериментальных данных не превышает 5%, оценена методом наименьших квадратов.

Полученные экспериментальные данные показывают, что при использовании товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой работоспособность плунжерных пар топливной аппаратуры увеличивается.

Отклонения теоретических данных от экспериментальных данных не превышают 5%, это свидетельствует о точном теоретическом описании наработки плунжерных пар ТНВД.

При этом сравнительный ресурс при ресурсных испытаниях плунжерных пар составил 2214 мото-ч. при использовании товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой и 1230 мото-ч. при работе на товарном летнем дизельном топливе. Данные представлены на Рисунке 7.

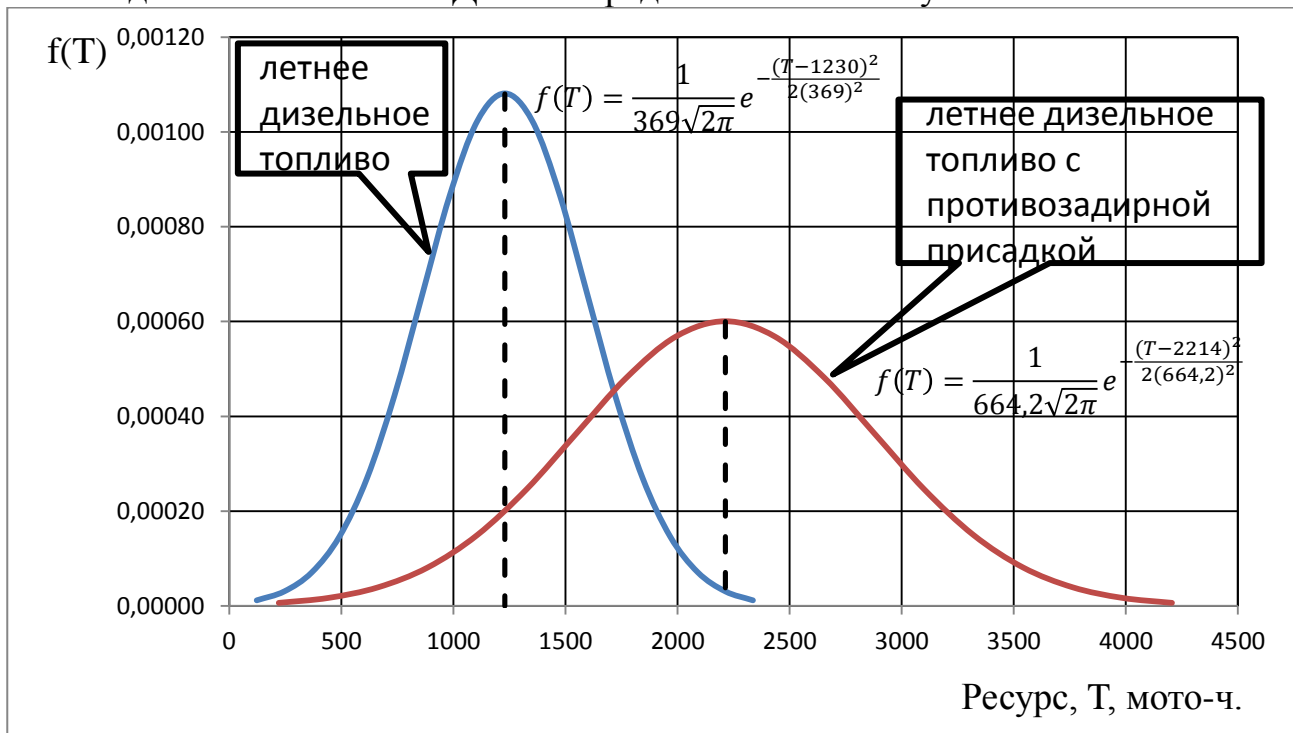


Рисунок 7 – Функция плотности распределения ресурса плунжерных пар при ресурсных испытаниях

На Рисунках 8, 9 представлены графики изменения гидравлической плотности плунжерных пар от кинематической вязкости и коэффициента трения.

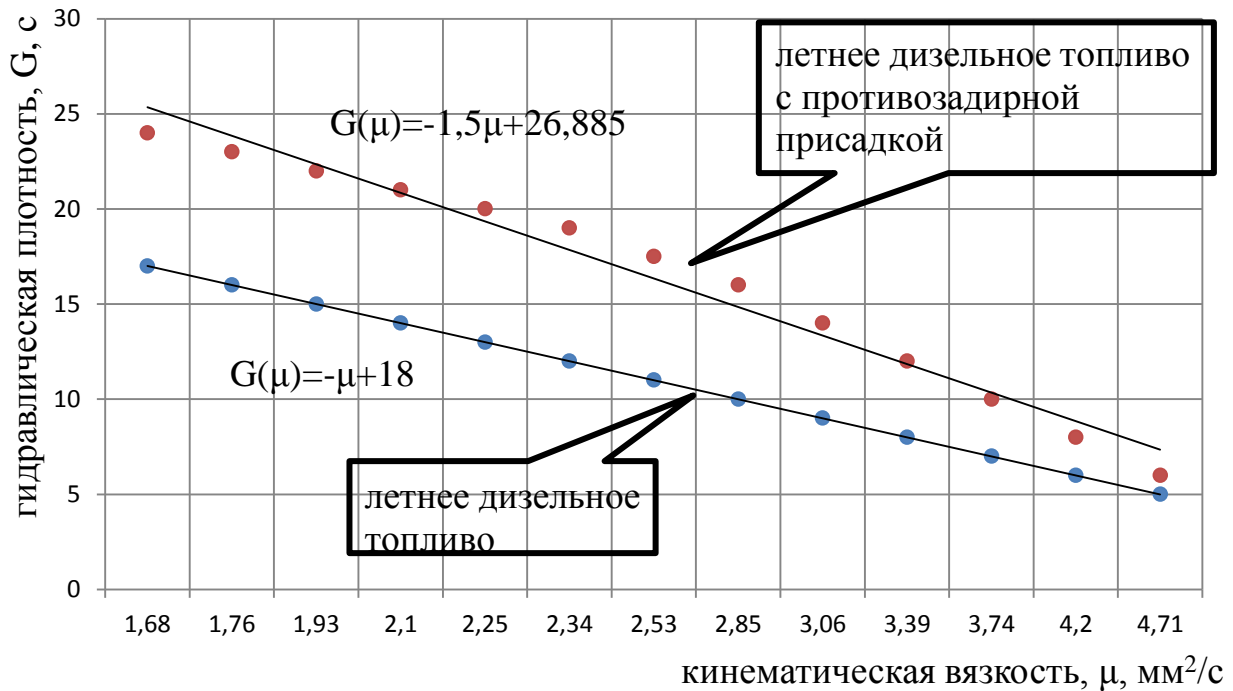


Рисунок 8 – График изменения гидравлической плотности плунжерных пар от кинематической вязкости

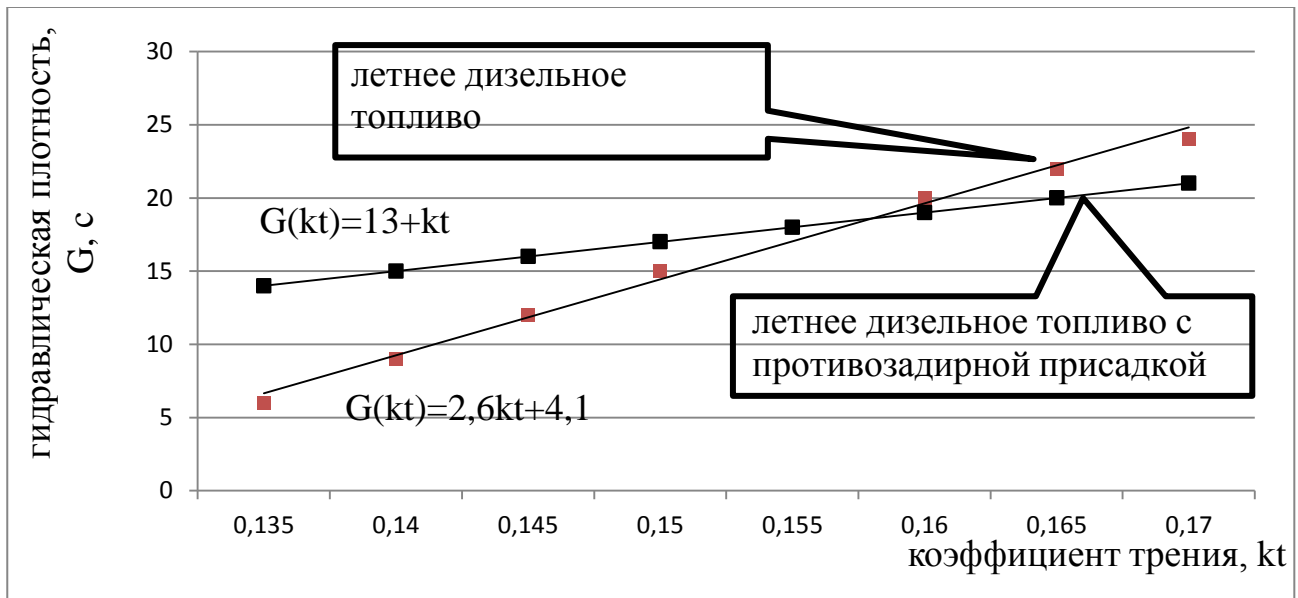


Рисунок 9 – График изменения гидравлической плотности плунжерных пар от коэффициента трения

Производственные испытания проводились в ИП КФХ Пальчик А.П. и ИП КФХ Тронц М.А. Иркутской области. Работа проводилась на тракторах МТЗ-82. Использовались товарное летнее дизельное топливо и товарное летнее дизельное топливо с противозадирной присадкой. На контрольном тракторе использовалось летнее дизельное топливо (100% ДТ). Трактора, используемые в исследовании там одного года выпуска, с одинаковым техническим состоянием.

Трактора, используемые при исследовании выполняли одинаковые полевые и транспортные работы. Испытания проводились в период с марта – октябрь в 2017-2020 гг.

Определение характеристик ТНВД проводили с периодичностью 100 мото-часов работы в условиях ремонтной мастерской по параметру гидравлической плотности плунжерных пар.

При пусковых и номинальных оборотах коленчатого вала производили замеры цикловой подачи с числом циклов 1000. Плунжерные пары осматривали визуально.

Результаты оценки гидравлической плотности и цикловой подачи топлива при производственных испытаниях плунжерных пар топливного насоса высокого давления приведены на Рисунке 10.

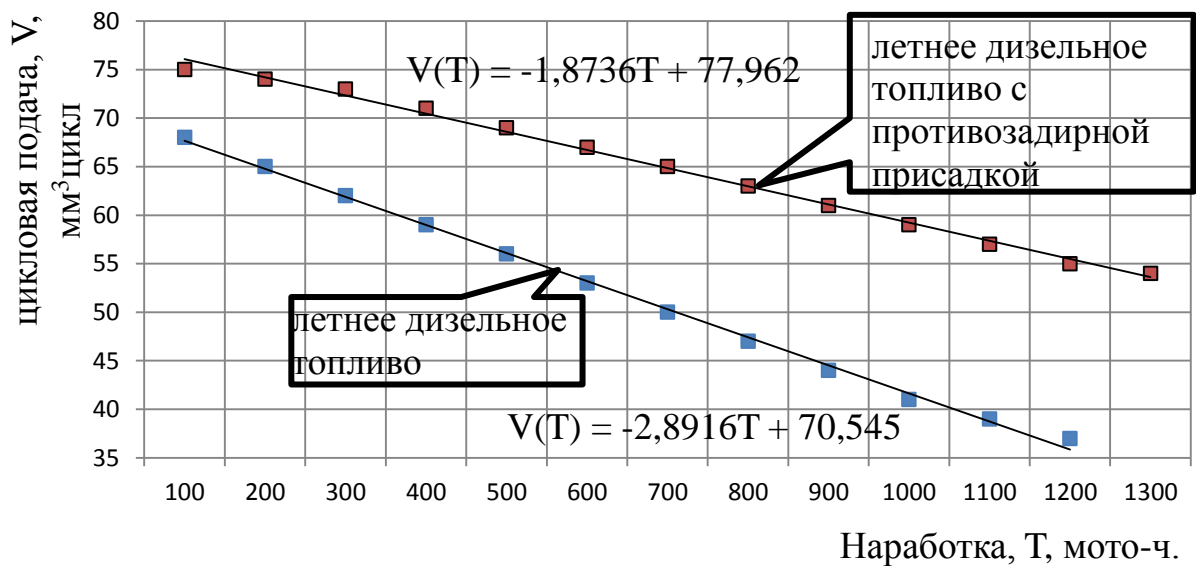


Рисунок 10 – График изменения подачи топлива в зависимости от наработки плунжерной пары ТНВД (при 1000 об/мин кулачкового вала)

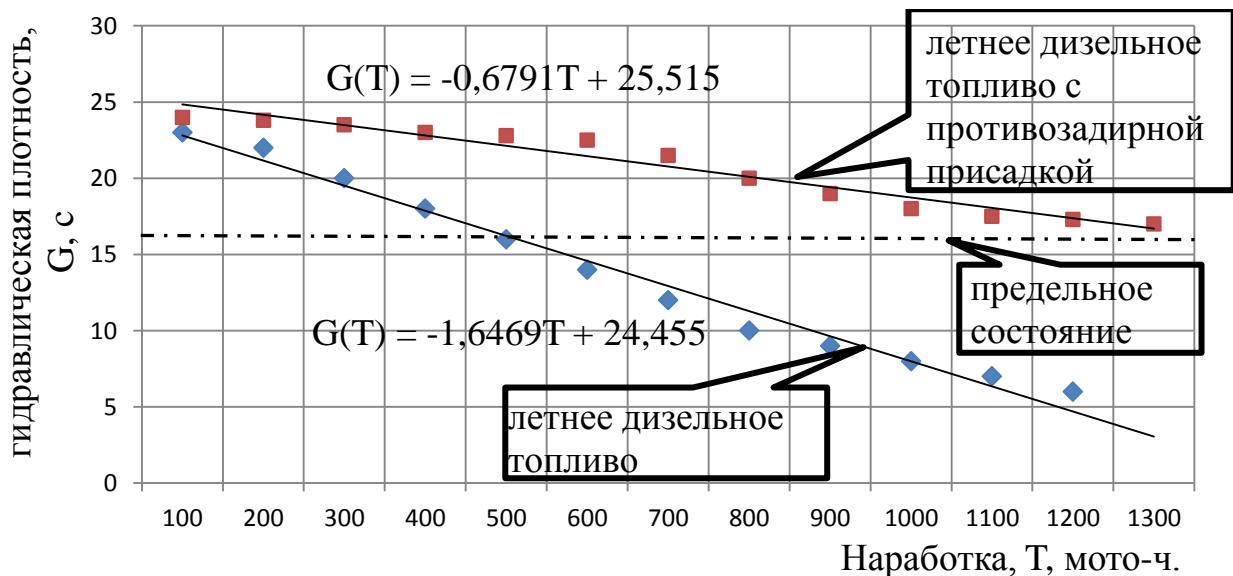


Рисунок 11 – График изменения гидравлической плотности плунжерных пар в зависимости от наработки

Экспериментальные данные, показывают, что при эксплуатации плунжерных пар на товарном летнем дизельном топливе с противозадирной присадкой цикловая подача в среднем снизилась с $V_{ц}=74\pm 3\%$ мм³/цикл до $V_{ц}=55$ мм³/цикл после наблюдений, а на контрольных плунжерных парах ТНВД, работающих на ДТ изменилась в среднем с $V_{ц}=59\pm 3\%$ мм³/цикл до $V_{ц}=37$ мм³/цикл. Изменения гидравлической плотности состояния с 24 с до 17 с при эксплуатации плунжерных пар на товарном летнем дизельном топливе с противозадирной присадкой и с 24 с до 6 с при эксплуатации на товарном летнем дизельном топливе.

В пятой главе проведен расчет годового экономического эффекта при применении моторного дизельного топлива с противозадирной присадкой. Годовой эффект на один трактор марки МТЗ-82 составил 91440 рублей при годовой наработке около 1800 мото-ч.

Заключение

1. В результате научной и априорной информации установлено:

- основным отказом топливных насосов высокого давления (ТНВД) двигателей тракторов является отказ плунжерных пар (около 65 – 80 % всех отказов ТНВД)

- ресурс плунжерных пар ТНВД в условиях рядовой эксплуатации в среднем не превышает 50 – 60 % от заявленного ресурса заводом – изготовителем.

Отказы плунжерных пар обусловлены схватыванием их материалов, которое является следствием контактных нагрузок и отсутствием противозадирной присадки в летнем товарном дизельном топливе. Для обеспечения работоспособного состояния плунжерных пар необходимо разработка компонентного состава противозадирной присадки в товарное летнее дизельное топливо.

2. Предложен компонентный состав противозадирной присадки в товарное летнее дизельное топливо, включающий: этанол, триглицерин, гидроксид водорода. В этой присадке, этанол является регулятором плотности противозадирной присадки, триглицерин – компонентом, регулирующим процесс схватывания материалов деталей плунжерной пары, гидроксид водорода – компонент, стабилизирующий процессы окисления триглицерина и горения дизельного топлива. Обоснована концентрация компонентов присадки: этанол – 25%, триглицерин – 15%, гидроксид водорода – 5%, от общего объема товарного летнего дизельного топлива. Концентрация компонентов обусловлена, исходя из эксплуатационных свойств и теплотворной способности дизельного топлива.

3. Теоретически обоснован показатель работоспособного состояния плунжерной пары. Разработана функциональная зависимость показателя работоспособного состояния (гидроплотности) с учетом зазора в сопряжении «втулка-плунжер» и эксплуатационных свойств товарного летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой.

4. Эксплуатационными испытаниями установлено, что:

- гидроплотность плунжерных пар при работе на летнем дизельном топливе с противозадирной присадкой составляет 17 – 24 с (при нормативном значении гидроплотности новых плунжерных пар 18 – 24 с),
- гидроплотность плунжерных пар при работе на товаром летнем дизельном топливе составила – 6 – 24 с;
- коэффициент трения снижается с 0,005 до 0,001 при работе плунжерных пар на летнем дизельном топливе с противозадирной присадкой.

5. Установлено при сравнительных стендовых и ресурсных, эксплуатационных испытаниях, ресурс плунжерных пар увеличивается с 1230 до 2214 мото-часов при работе на летнем дизельном топливе с противозадирной присадкой.

6. Установлено, в результате производственной проверки в ИП КФХ Пальчик А.П. и ИП КФХ Тронц М.А. (в период с 2017 – по 2020 г.г.), годовой экономический эффект при использовании летнего дизельного топлива с противозадирной присадкой составляет 91,44 тыс. руб. на 1 трактор тягового класса 14 кН, за счет снижения количества отказов плунжерных пар ТНВД.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на разработку системы теории испытания плунжерных пар не только ТНВД, но и систем Common Rail. Кроме этого необходимо химмотологическое обоснование и совершенствование компонентного состава противозадирных присадок во все сорта дизельного топлива, включая высокосернистые дизельные топлива. Планируется совершенствование средств измерения, контроля состояния плунжерных пар ТНВД (включая интеллектуальные средства оценки состояния плунжерных пар) и повышение точности их функционирования.

Список опубликованных работ

– в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Бодякина, Т. В. Растительное сырье как топливо для автотракторных двигателей. / Т.В. Бодякина, Т.П. Гергенова, П.А. Болоев, О.Н. Хороших // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА» вып. 81/1, 2017. - С.63-67
2. Болоев, П. А. К вопросу об использовании биотоплива в дизельных двигателях. / П.А. Болоев, М.К. Бураев, А.В. Шистеев, Т.В. Бодякина // Научно-технический журнал «Вестник ВСГУТУ» № 3 (70), 2018. - С.31-36
3. Бодякина, Т. В. Анализ технологий преобразования возобновляемых источников энергии в моторное топливо / Т.В. Бодякина, П.А. Болоев, Т.П. Гергенова // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 5. – С. 3-6.
4. Елтошкина, Е. В. Обеспечение работоспособности и отказоустойчивости машин резервированием сменных элементов / Е.В. Елтошкина, М.К. Бураев, Т.В. Бодякина // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. - № 6. – С.54-57

– в международной базе цитирования Scopus

5. Tatyana Bodyakina, Petr Boloev, Mihail Buraev, and Alexey Shisteev, E3S Web of Conferences 175, 05035 (2020) Diagnostics of hydraulic density of plunger couple of tractor diesel

<https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/35/contents/contents.html>

– в других изданиях

6. Бодякина, Т. В. Диагностирование дизельных двигателей, работающих на водобиотопливной эмульсии / Т.В. Бодякина, М.К. Бураев, А.В. Шистеев // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, (29-30 марта 2018 г.). – Иркутск, 2018. – С. 173-180.

7. Бодякина, Т. В. О диагностировании дизельных двигателей при работе на водобиотопливной эмульсии. / Т.В. Бодякина, П.А. Болоев, М.К. Бураев [и др.] / Сборник научных трудов. Серия: Технология и технические средства в АПК. Биометрическая техника. Вып. 14. - Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. - С. 3-9

8. Бодякина, Т.В. Выбор диагностируемых параметров дизельных двигателей при работе на биотопливе. / Т.В. Бодякина, М.К. Бураев, П.А. Болоев [и др.] / Исследования в области естествознания, техники и технологий как фактор научно-технического прогресса: сб. научных трудов по материалам международной научно-практической конф. – Белгород, 2018. – С. 85-89

9. Бодякина, Т.В. Особенности использования биотоплива в дизельных двигателях. / Т.В. Бодякина, М.К. Бураев / Материалы региональной научно-практической конференции молодых ученых (ИрГАУ имени А.А. Ежовского, 28 - 29 марта 2019 г., г. Иркутск). – Иркутск: Издательство ИрГАУ, 2019. – С. 137-142

10. Бодякина, Т.В. Повышение надежности работы топливного насоса путем использования альтернативного топлива. / Т. В. Бодякина, П. А. Болоев, Т. П. Гергенова [и др.] / Материалы VIII национальной научно - практической конференции с международным участием «Чтения И. П. Терских» посвящённой проблеме «Актуальные вопросы инженерно - технического и технологического обеспечения АПК» (26 - 27 сентября 2019 г., г. Иркутск). – Иркутск, 2019. – С. 36-41

11. Бодякина, Т.В., Теоретическое определение износа прецизионных деталей топливной аппаратуры высокого давления тракторных дизелей. / Т.В. Бодякина, М.К. Бураев, П.А. Болоев / Научно-техническое обеспечение АПК Сибири: материалы Междунар. науч.-технич. конф. (п. Краснообск, 3-4 октября 2019 г.) /Сибирский научно исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН. – Новосибирск, 2019. – С. 195-201

12. Бодякина Т.В. Разработка технологии сохранения ресурсов на предприятиях агропромышленного комплекса Иркутской области / Т.В. Бодякина / Актуальные вопросы аграрной науки : электрон. науч.-практ. журн. - 2019. - Вып. 33, декабрь. - С. 5-12.

13. Болоев, П.А. Моделирование, управление динамических свойств дизеля с наддувом/ П. А. Болоев, Т. П. Гергенова, Т. В. Бодякина, А.Е. Немцев / Материалы IX национальной научно - практической конференции с международным участием «Чтения И. П. Терских» посвящённой проблеме «Актуальные вопросы инженерно - технического и технологического

обеспечения АПК» (23 - 24 сентября 2021 г., г. Иркутск). – Иркутск, 2021. – С. 7-13.

14. Болоев, П.А. Программируемые бортовые системы диагностирования двигателей/ П. А. Болоев, Т. В. Бодякина, А.Е. Немцев, А.Б. Лубсанова / Материалы IX национальной научно - практической конференции с международным участием «Чтения И. П. Терских» посвящённой проблеме «Актуальные вопросы инженерно - технического и технологического обеспечения АПК» (23 - 24 сентября 2021 г., г. Иркутск). – Иркутск, 2021. – С. 14-19.

Подписано в печать __. __. 2022. Бумага офс. №1. Формат 60x84
1/16 Усл.печ.л.1,2. Тираж 100. Заказ №271
Цена договорная

ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный
университет им. А.А. Ежевского
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный, 1/1
e-mail: cit@igsha.ru