



ГИТЕЛЬМАН
Денис Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ПОСЛЕРЕМОНТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ПРИМЕНЕНИЕМ ТРИБОПРЕПАРАТОВ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Диссертация выполнена в лаборатории (№ 5) разработки технологий безразборного сервиса узлов и агрегатов машин с применением наноматериалов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка» (ФГБНУ ГОСНИТИ).

Научный руководитель **Соловьев Рудольф Юрьевич**
кандидат технических наук, доцент,
заместитель директора по научной работе ФГБНУ
ГОСНИТИ

Официальные оппоненты: **Сафонов Валентин Владимирович**
доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой технического сервиса и технологии кон-
струкционных материалов ФГБОУ ВО «Саратов-
ский государственный аграрный университет име-
ни Н.И. Вавилова»

Быкова Елена Владимировна
кандидат технических наук, доцент, доцент кафед-
ры «Технологии и машины в растениеводстве»
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграр-
ный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт использования техни-
ки и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
(ФГБНУ ВНИИТиН)

Защита диссертации состоится 20 октября 2016 г. в 13⁰⁰ часов на заседании дис-
сертационного совета Д 220.043.14 на базе ФГБОУ ВО «Российский государст-
венный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу:
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел./факс: 8(499) 976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени
Н.И. Железнова ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева и на сайте
университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан «___» августа 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук

Елена Анатольевна Улюкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время более половины всех механизированных работ в сельском хозяйстве выполняются тракторами, отремонтированными в центральных ремонтных мастерских (ЦРМ) сельхозпредприятий (СХП). Износ основной техники, которая более чем на 75...85% выработала свой ресурс, прежде всего пахотных тракторов отечественного производства, является причиной низкой производительности труда, большого количества отказов, а также причиной увеличения простоев машин в поле, и, следовательно, к потерям сельхозпродукции.

Исследованиями ГОСНИТИ установлено, что ресурс двигателей, отремонтированных в ЦРМ СХП, в 3...5 раз ниже нормативного. Из вышесказанного следует, что исследования, направленные на повышение долговечности отремонтированных в ЦРМ СХП двигателей являются актуальными.

Важное место в повышении послеремонтной долговечности ДВС, наряду с соблюдением технологии ремонта занимает эксплуатационная обкатка. Из-за искажения геометрических и точностных параметров блоков, отсутствия средств контроля этих параметров в условиях ЦРМ, а также низкого качества запасных частей уже при технологической обкатке двигателей (при их ремонте) могут возникать отказы, вызванные задирами деталей в ресурсных сопряжениях. Нередко появление задиров происходит и в период эксплуатационной обкатки тракторов не только из-за выше указанных причин, но и из-за несоблюдения режимов обкатки.

Исключить образование задиров и повысить послеремонтную безотказность и долговечность дизелей, при существующем уровне качества ремонта, предположительно можно, добавляя специальные трибопрепараты в смазочные материалы, как в период эксплуатационной обкатки, так и в период штатной эксплуатации трактора. В диссертации вместо условно принятого термина «трибопрепараты» используются такие термины как триботехнический состав, трибосостав, трибоматериал, трибодобавка, наноматериал. Такой подход автора вызван тем, что терминология по применению трибоматериалов в техническом сервисе машин не утверждена. В то же время в России и за рубежом производится более 200 различных триботехнических препаратов различных марок, устанавливаемых фирмами-производителями.

Работа выполнена в соответствии с заданием Плана фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению развития АПК РФ № 09.04.05 по ГОСНИТИ «Разработать научные основы, методы и технологии применения наноматериалов для восстановления и упрочнения деталей при ремонте техники».

Цель исследования. Повышение послеремонтной долговечности и безотказности автотракторных двигателей, отремонтированных в ЦРМ СХП, применением трибопрепаратов в составе моторного масла.

Объект исследования. Технология повышения долговечности автотракторных двигателей применением триботехнических составов.

Предмет исследования. Разработка метода выбора рационального триботехнического состава для исключения задира в паре трения и снижения интенсивности изнашивания деталей.

Методика исследований. Разработан метод диагностики и выбора трибоматериала. Экспериментальные триботехнические исследования проведены с использованием разработанного специального устройства, на который получен патент РФ на полезную модель устройства, а также стандартных приборов, оборудования и средств контроля точности контролируемых параметров. Разработаны частные методики исследований с использованием методов математической статистики для обработки полученных результатов.

Научная новизна работы состоит:

– в разработке нового метода выбора рационального трибопрепарата по установленному коэффициенту трения, при использовании которого исключается образование задиров в трибосопряжениях и существенно снижается интенсивность изнашивания. На способ предотвращения задиров в парах трения получено положительное решение о выдаче патента РФ на изобретение;

– в получении новых знаний по триботехническим лабораторным исследованиям, стендовым и эксплуатационным испытаниям трибоматериалов, которые могут использоваться специалистами на предприятиях по техническому сервису машин, а также в учебном процессе при подготовке бакалавров, инженеров и магистров в высших сельскохозяйственных учебных заведениях;

– в разработке технологических рекомендаций по выбору и применению трибоматериалов, существенно ускоряющих эксплуатационную послеремонтную обкатку без образования задиров и повышающих долговечность и безотказность ресурсных сопряжений ДВС.

Практическая значимость работы.

Разработанные рекомендации позволяют существенно ускорить послеремонтную эксплуатационную обкатку дизелей без задиров в ресурсных сопряжениях и повысить послеремонтную наработку до отказа третьей группы сложности, в результате чего повышаются производительность тракторных агрегатов при обработке почвы, экономия топлива и уменьшаются эксплуатационные затраты, а также затраты на ремонт и техническое обслуживание тракторов.

Достоверность результатов работы обеспечена использованием результатов экспериментальных исследований по трению и изнашиванию, основных положений трибологии и надежности машин, применением современных методик и средств измерений и подтверждением результатов лабораторных исследований стендовыми и эксплуатационными испытаниями двигателей.

Реализация результатов исследования. Результаты исследований внедрены в сельскохозяйственных предприятиях Челябинской области. Учебное пособие «Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственной техники» внедрено в учебный процесс при подготовке инженеров и магистров в ФГБОУ ВПО Челябинской государственной агроинженерной академии (ЧГАА).

Результаты исследования могут быть использованы для увеличения ресурса технологического оборудования во многих отраслях промышленного производства.

Апробация работы. Результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на международных практических конференциях-выставках в Санкт-Петербурге «Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки» в 2005 г. и в 2006 г., международных научно-практических конференциях «Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания, восстановления и упрочнения деталей» в 2010, 2012 и в 2013 г. в ГНУ ГОСНИТИ, международной конференции «Индустриальные масла и смазочные материалы в металлургии и машиностроении» 1-2 июня 2011 г. в Москве, международных научно-технических конференциях ЧГАА.

Публикации. Результаты исследований отражены в 31 научных публикациях, в том числе в 12 статьях в печатных изданиях, рекомендованных ВАК. По результатам исследования получено пять патентов РФ (2 патента на изобретения и 3 патента на полезную модель).

Результаты исследования опубликованы также в двух учебных пособиях для студентов и в двух монографиях высших учебных заведений по агроинженерным специальностям и в монографии «Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий в АПК» и «Безызымная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 144 страницах машинописного текста, включая 37 рисунков, 13 таблиц, библиографию из 120 наименований и 8 приложений на 11 страницах.

На защиту выносятся:

- обоснование и разработка метода выбора рационального трибопрепарата, при использовании которого существенно сокращается период послеремонтной эксплуатационной обкатки и повышается долговечность и безотказность ресурсных сопряжений автотракторных двигателей;
- результаты лабораторных триботехнических исследований трибопрепаратов, результаты стендового испытания дизеля и эксплуатационной проверки эффективности обоснованно выбранного трибоматериала;
- технология выбора и применения трибоматериала для сокращения периода послеремонтной эксплуатационной обкатки и повышения долговечности автотракторных двигателей;
- внедрение и оценка эффективности результатов исследования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы и приведена ее краткая характеристика, поставлены цель, показаны новизна и значимость результатов для науки и практики.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» приведены анализ состояния вопроса, проблемные ситуации в техническом сервисе МТП и определены задачи исследования.

Краткий анализ технического уровня и послеремонтной надежности отечественной сельскохозяйственной техники, укрупненная характеристика состава парка основных машин и ремонтно-обслуживающей базы в сельском хозяйстве показали, что в сельском хозяйстве используется в основном устаревшая техника, созданная 30...40 лет назад, что затраты на ремонт и запчасти составляют более 65 млрд. руб. в год. Доля исправных тракторов не превышает 80...82% (вместо 95...98%).

По данным ГОСНИТИ доля ремонта тракторов в РТП и РЗ оставляет 2,8%. Ремонт всего парка тракторов проводится в основном в технически не оснащенных центральных ремонтных мастерских сельхозпредприятий. Ресурс дизелей, отремонтированных в ЦРМ в 3...5 раз ниже нормативного, установленного ГОСНИТИ.

Обзор и анализ результатов исследований по разработке технологий ремонта машин и повышению его качества, в том числе и по сокращению длительности послеремонтной эксплуатационной обкатки и увеличению ресурса ДВС, проведенных В.И. Черноивановым, М.Н. Ерохиным, В.П. Лялякиным, М.Х. Нигаматовым, Н.В. Храмцовым, Г.Г. Шароновым, В.И. Цыпцыным, В.И. Кривенко, А.К. Требиловым, В.В. Стрельцовым, В.В. Сафоновым, В.И. Балабановым, И.Г. Голубевым, Е.А. Пучиным, А.К. Ольховацким и др. показывает, что применение трибопрепаратов в составе моторного масла позволяет значительно повысить долговечность и послеремонтный ресурс машин.

Объективно возникает необходимость продолжения дальнейших исследований по применению новых более эффективных трибоматериалов, исключая образование задиров на поверхностях ресурсных деталей и существенно повышающих безотказность и долговечность ДВС.

Исходя из вышеизложенного, поставлены следующие задачи исследования.

1. Обосновать и разработать метод диагностики и выбора рационального трибоматериала в составе моторного масла, исключая образование задиров в период эксплуатационной обкатки ДВС, отремонтированных в условиях ЦРМ СХП и существенно увеличивающего межремонтный ресурс.

2. Выполнить триботехнические лабораторные исследования выбранных рациональных трибоматериалов. Провести испытания ДВС с рациональным трибоматериалом в составе моторного масла на стенде и при эксплуатации.

3. Осуществить внедрение технологических рекомендаций и дать экономическую оценку результатов исследования.

Во второй главе «Теоретические предпосылки по применению трибопрепаратов для повышения послеремонтной долговечности автотракторных двигателей».

На основании результатов изучения причин образования задиров в ресурсных сопряжениях ДВС и анализа свойств большого количества марок трибоматериалов, которые представлены в известных четырех классах, а также на основании результатов проведенных предварительных триботехнических экспериментов, выдвинуты теоретические предпосылки о возможности сокращения послеремонтной обкатки и повышению долговечности и безотказности ДВС в межремонтный период. Эти предпосылки представлены в виде схемы на рисунке 1.

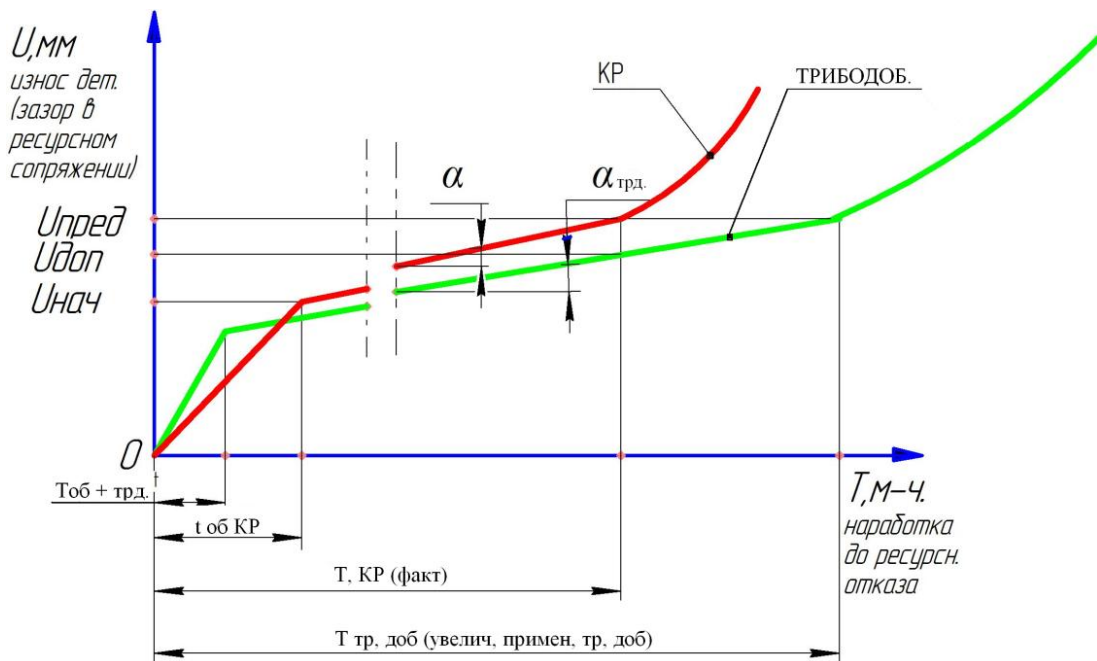


Рисунок 1 – Предлагаемая схема сокращения периода обкатки и повышения послеремонтной долговечности ДВС применением трибоматериалов:

U – износ детали, мм;

T – наработка до отказа третьей группы сложности, мото-ч;

КР – кривые капремонта;

$U_{нач}$ – начальный зазор ресурсного сопряжения;

$U_{пред}$ – предельный зазор (износ);

$U_{доп}$ – допустимый зазор (износ);

α – скорость изнашивания деталей после КР;

$\alpha_{трд}$ – скорость изнашивания деталей после КР с применением трибодобавки;

$t_{об + трд}$ – время эксплуатационной обкатки двигателя после КР;

$t_{об + ТР.доб}$ – время обкатки двигателя с применением трибодобавки после КР;

$T, КР$ – межремонтный ресурс фактический;

$T_{тр. доб}$ – межремонтный ресурс с применением трибодобавки

Из рисунка 1 следует, что применение трибоматериалов в составе моторного масла предположительно может существенно повысить послеремонтную

долговечности за счет уменьшения интенсивности изнашивания деталей ДВС, а также сократить период эксплуатационной обкатки за счет снижения коэффициента трения в ресурсных сопряжениях.

Основными критериями при выборе рационального трибопрепарата являются для эксплуатационной послеремонтной обкатки ДВС - гарантированное исключение образования задиров, а для повышения долговечности - минимальная интенсивность изнашивания деталей в ресурсных сопряжениях в режиме штатной эксплуатации.

Для доказательства выдвинутых предпосылок сделаем анализ интенсивности изнашивания для различных условий на основе зависимостей предложенных основоположником теории трения И.В. Крагельским.

Зависимости интенсивности изнашивания (I) для различных условий следующие:

при упругом контакте

$$I = C_1 \frac{(1 - \mu^2)}{E} g_a \left[\frac{kfg_c}{c_2 \sigma_0} \left(\frac{E}{(1 - \mu^2)g_c} \right)^{1-\beta} \right]^t; \quad (1)$$

при пластическом контакте

$$I = \frac{1}{2\nu + 1} \sqrt{\frac{\nu h_{\max}}{2 Rb^{1/\nu}}} \left(\frac{P_a}{HB} \right)^\gamma \left[\frac{1}{\varepsilon_p} \sqrt{\frac{2 h_{\max}}{Rb^{1/\nu}}} \frac{1 + Kf}{1 - Kf} \right]^t, \quad (2)$$

где C_1 , C_2 , β , k , γ , K – эмпирические коэффициенты, g_a , g_c – нормальное и кон-турное давление, f – коэффициент трения, σ_0 – предел прочности на растяжение, t – показатель кривой усталости, b , ν – константы микрогеометрии поверхности; h_{\max} – максимальная высота профиля поверхности; R – радиус выступа внедряемого тела; P_a – действующая нагрузка; ε_p – разрушающее удлинение; HB – твердость по Бринеллю, E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона.

Если предположить, что в формулах (1) и (2) все составляющие, кроме нагрузки и коэффициента трения, будут постоянными по своим значениям, неменяющимися, то интенсивность изнашивания будет определяться только нагрузкой и коэффициентом трения, характеризующим антифрикционные свойства трибоматериала.

Для реализации этого предположения разработано специальное устройство, представленное на рисунках 3 и 4, в котором трибопара состоит из испытуемых образца и контробразца, например, из ролика и кольца подшипника (сталь ШХ15, твердость 72 HRC). Тогда при проведении триботехнических экспериментов, данные образцы будут обладать неменяющимися геометрическими характеристиками, неменяющимся высоким пределом выносливости материала и высокой твердостью, неменяющейся способностью выдерживать значительные деформации без разрушения. Из этого следует, что при использовании предлагаемых образцов определяющими составляющими интенсивности износа по формулам (1) и (2) будут нагрузка (P) и коэффициент трения (f), ко-

торый зависит от условий трения, т.е. от марки трибопрепарата в составе смазочного материала.

Кроме того, при исследовании трибоматериалов на задир на устройстве (рисунки 3, 4) скорость скольжения при трении (V) и начальный точный контакт (S) образцов в трибопаре также являются постоянными величинами, тогда интенсивность изнашивания (I) можно представить в виде формулы (3):

$$I = APf, \quad (3)$$

где P – нагрузка, Н; f – коэффициент трения; A – постоянный многофакторный коэффициент, который можно представить в общем виде как

$$A = F(HRC, Ra, E, \mu, V, S, C_1, C_2, \beta, k, \gamma, K). \quad (4)$$

Из формулы (3) следует:

– по минимальному относительному коэффициенту трения из нескольких диагностируемых трибопрепаратов в составе моторных масел по сравнению с коэффициентом трения чистого базового моторного масла и величине износа образцов, при постоянной нагрузке, достоверно можно выбрать рациональный трибопрепарат, который существенно снизит интенсивность изнашивания деталей и повысит долговечность трибосопряжений;

– произведение Pf определяет силу трения $F_{тр}$ по известной формуле коэффициента трения: $f = F_{тр} / P$. На основании полученных результатов многократных предварительных экспериментов по поиску и обоснованию условий для образования задир на разработанном устройстве по принятой схеме нагружения впервые установлено, что сила трения при задире для конкретной трибопары из стали ШХ15 при испытании различных марок трибоматериалов в составе моторного масла, не изменяется и является постоянной величиной $F_{тр} = Pf$.

Переменными при задире являются только нагрузка и коэффициент трения.

Эта константа трибопары устройства названа характеристикой или параметром задир трибопары из стали ШХ15. Этот параметр можно назвать метрологическим показателем устройства и конкретной трибопары.

Данное значение параметра определяется как произведение среднего значения коэффициента трения базового моторного масла, на среднее значение нагрузки, при которой происходит задир в трибопаре устройства.

Зная параметры задир трибопары устройства и предельную нагрузку диагностируемого трибоматериала, при котором происходит задир в трибопаре, можно определить коэффициент трения для любого состава масляной композиции, состоящей из моторного масла и трибоматериала.

Экспериментально установлено, что задир в трибопаре устройства, и следовательно отказ в ресурсном сопряжении ДВС, гарантированно не произойдет, если коэффициент трения масляной композиции не будет превышать 0,05. Минимальная нагрузка при этом должна быть равной не менее 160...180 Н. Данное устройство позволяет создавать нагрузку 300 Н. Разработанный метод выбора рационального трибопрепарата подтвержден решением ФИПС (РОСПАТЕНТ) о выдаче патента на изобретение «Способ предотвращения задира в парах трения» от 14.04.2014 №2014114667 / 28 (022993).

Далее, из анализа закономерностей трения И.В. Крагельского следует, что внешнее трение будет иметь место, если

$$\frac{h}{r} \leq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_0} \right), \quad (5)$$

где τ – прочность на срез адгезионной связи мостиков схватывания; σ_0 – предел текучести деформируемой поверхности; h – глубина внедрения единичной неровности; r – радиус закругления единичной неровности.

Из формулы (5) следует, что наилучшим условием трения будет, если $\tau \rightarrow 0$, т.е. образованные модифицированные антифрикционные слои деталей в результате воздействия трибоматериала в трибопаре должны иметь малое сопротивление на срез образующихся мостиков сварки.

Такие антифрикционные модифицированные слои, исключая образование задира в ресурсных сопряжениях, могут создаваться на поверхностях сопрягаемых деталей в механизмах машин при использовании рациональных трибопрепаратов в смеси со смазочными материалами, как это указывалось ранее.

В приведенной зависимости (5) приводятся параметры шероховатости поверхности (h и r), определяющие наилучшие условия трения в трибопаре, кроме того формула (1) по интенсивности изнашивания для различных условий содержит эмпирические функционалы C_1 , C_2 и β , которые также зависят от параметров микрогеометрии поверхности – v и b , характеризующих кривую опорой поверхности по формулам (6), (7) и (8).

Из анализа приведенных эмпирических зависимостей следует, что шероховатость поверхности может существенно влиять на процесс образования задиров в парах трения и на интенсивность изнашивания деталей.

$$C_1 = 0,6 \frac{\sqrt{v}}{K_2 v (v^2 - 1)}; \quad (6)$$

$$C_2 = \left(\frac{R}{h_{\max}} \right)^{\frac{v}{2v+1}} \left(\frac{b}{2} \right)^{\frac{1}{2v+1}} \left(\frac{0,75\pi}{K_2 v (v-1)} \right)^{\frac{2v}{2v+1}}; \quad (7)$$

$$\beta = \frac{1}{2v+1}. \quad (8)$$

На основании полученных предварительных результатов исследования трибоматериалов выдвинуто предположение о несущественном влиянии параметров шероховатости в пределах шлифованной поверхности образцов от 6В до 10В классов по ГОСТ 2789 (JS01302). В указанные пределы шероховатости поверхности входят детали цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма ДВС.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» приведены общая и частные методики экспериментальных исследований.

В соответствии с задачами, а также для достижения поставленной цели была принята следующая программа исследований: выполнить исследования по обоснованию метода выбора рационального трибоматериала для сокращения

эксплуатационной обкатки и повышения долговечности и безотказности ДВС, провести лабораторные экспериментальные триботехнические исследования по влиянию трибоматериалов на задиры в парах трения и интенсивности изнашивания, стендовые и эксплуатационные испытания ДВС с выявленным рациональным трибопрепаратом в составе моторного масла.

Для проведения исследований были отобраны наиболее известные 18 марок трибоматериалов отечественных и зарубежных производителей, из которых по результатам предварительных триботехнических экспериментов, по величине износа образцов и образованию задиров, для продолжения исследований были выбраны 9 марок, представленные на рисунке 2.



Рисунок 2 – Трибоматериалы для проведения лабораторных триботехнических исследований

Определение интенсивности изнашивания и образования задир в трибосопряжении проводилось на оригинальном устройстве (патент РФ № 104722 от 20.05.11), которое обеспечивало наилучшие условия для образования задир на сопрягаемых поверхностях образцов благодаря максимальной локализации нагрузки в трибопаре по схеме, представленной на рисунке 3. Общий вид устройства представлен на рисунке 4.

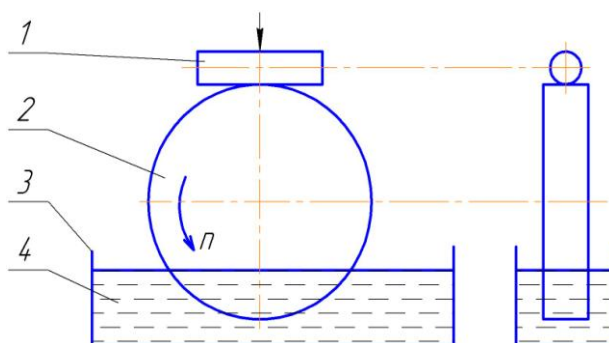
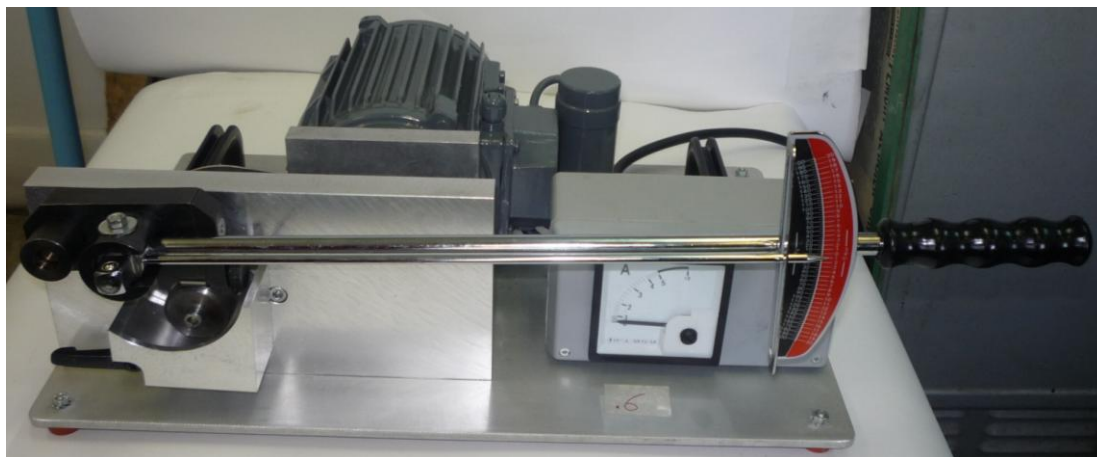


Рисунок 3 – Схема локализации нагрузки в трибосопряжении:

1 – образец, 2 – контробразец, 3 – ванна, 4 – масло, содержащее трибоматериал

Максимальная локализация нагрузки в трибосопряжении потребовало и максимальной твердости образцов. Поэтому в качестве образцов использованы детали подшипников качения, изготовленные из стали ШХ15 и имеющие твердость не менее 72HRC.



**Рисунок 4 – Устройство для испытаний трибоматериалов
(патент РФ № 104722)**

Образование задира и заклинивание в трибосопряжении, а также интенсивность изнашивания в процессе испытания трибоматериала в заданных особо жестких условиях (рисунок 3 и 4) будет указывать, во-первых, на какую величину трибоматериал, содержащийся в масле, будет снижать коэффициент трения в сопряжении деталей и интенсивность изнашивания и, во-вторых, вероятность исключения образования задиров в ресурсных сопряжениях двигателя. Именно по этим критериям диагностируется и определяется целесообразность и эффективность применения трибоматериала при эксплуатационной обкатке двигателей и для повышения послеремонтной долговечности и безотказности ДВС.

Для подтверждения достоверности разработанного метода выбора рационального трибопрепарата проведены триботехнические экспериментальные исследования с максимально приближенными условиями к условиям триботехнических экспериментальных исследований к условиям трения поршневых колец и зеркала цилиндров и шейки коленчатого вала и вкладыша в ДВС, в работе использованы образцы, изготовленные из поршневых колец и вкладышей. Испытания проводились на машине трения СМЦ-2.

При исследовании влияния шероховатости поверхности деталей на процесс образования задира и заедания в трибопаре образцов для измерения шероховатости использовался электронный профилометр контактный, тип П, степень точности 2 по ГОСТ 19300–86 модели 170623 с информационно-вычислительным блоком и программным обеспечением.

Влияние трибопрепаратов в составе масел на интенсивность изнашивания контролировалось по изменению массы образцов с помощью электронных весов Е-410 с ценой деления 0,001 г.

Многokратная повторяемость опытов и обработка результатов экспериментов обеспечивала достоверность экспериментальных исследований.

Испытание двигателя Д-240 трактора МТЗ, как наиболее распространенного в сельском хозяйстве с трибопрепаратом в составе моторного масла, проводилось на стенде КИ-5543 ГОСНИТИ в соответствии с требованиями ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний». Во время испытания с помощью приборов фиксировался часовой рас-

ход топлива, частота вращения коленчатого вала, температура воды в системе охлаждения, температура и давление масла и другие параметры.

В качестве трибоматериала был выбран, при использовании разработанного метода, трибопрепарат Eco-Universal Oil Package фирмы Wagner, обладающий наименьшим коэффициентом трения в трибосопряжениях и наименьшей величиной износа образцов. Этот трибопрепарат полностью исключал образование задир на образцах при нагрузке многократно превышающую нагрузку, при которой происходило заклинивание образцов в чистом моторном масле (рисунок 5). Другие трибопрепараты были значительно менее эффективны.

В результате обработки экспериментальных данных были определены зависимости механических потерь, часового расхода топлива, цикловой подачи топлива, удельного индикаторного расхода топлива и индикаторного КПД от изменения числа оборотов коленчатого вала.

На заключительном этапе исследований проводили эксплуатационную проверку результатов лабораторных триботехнических исследований и стендовых испытаний дизеля.

В четвертой главе «Результаты исследования и их анализ» представлены результаты экспериментальных триботехнических исследований, стендовых испытаний, эксплуатационной проверки и дан их анализ.

Результаты триботехнических исследований трибопрепаратов на задир образцов, представлены на рисунке 5.

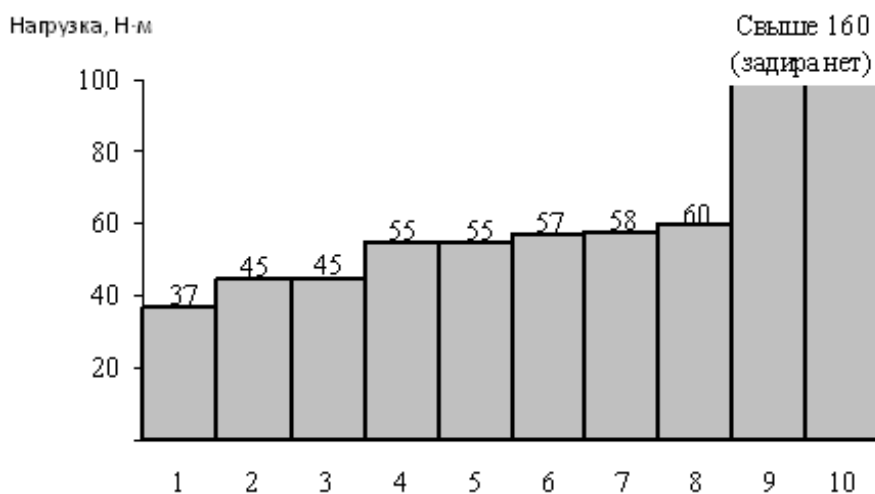


Рисунок 5 – Диаграмма максимальных нагрузок (Н·м) в трибосопряжении, при которых происходит задир (заклинивание):

1 – чистое моторное масло; 2 – Форум; 3 – APVO; 4 – РВД; 5 – Форсан универсальный; 6 – РВС; 7 – Реагент-2000; 8 – Супротек универсальный; 9 – Ceramic Wagner; 10 – Oil Package Wagner

Из диаграммы следует, что только два трибопрепарата из 9 могут гарантированно исключать образование задиров и заклинивания в трибосопряжении образцов. Это препараты фирмы Wagner. Было установлено, что эти же препараты обладают и уникальной износостойкостью. Оказалось, что величина износа образцов при использовании препарата фирмы Wagner на порядок ниже по сравнению с другими трибоматериалами в составе моторного масла.

Относительный коэффициент трения, по показаниям амперметра на устройстве, также в 5...7 раз был ниже. Величина потребляемого тока электродвигателем не превышала 0,5 А с трибопрепаратами Wagner. На всех других трибопрепаратах величина тока находилась в диапазоне 4...5 А.

Результаты исследования влияния исходных параметров шероховатости поверхности образцов на изменение показателей шероховатости и образование задира при испытании трибоматериала Oil Package Wagner в составе моторного масла на устройстве для испытания масел при трении приведены в таблице 1.

Из анализа изменения значений параметров шероховатости исходной поверхности образцов после шлифования и экспериментальной шероховатости поверхности образцов, полученных в результате трения в трибосопряжении в моторном масле, содержащем трибодобавку Oil Package Wagner, следует, что, во-первых, шероховатость исходной поверхности ограниченной нами в пределах от 6В класса шероховатости до 10В класса существенно не влияет на процесс образования задира в трибосопряжении. Ограничение исходной шероховатости в указанных пределах обосновано тем, что в реальных ресурсных сопряжениях ДВС параметры шероховатости рабочих поверхностей деталей находятся в пределах принятых ограничений.

Во-вторых, все исходные параметры шероховатости, в результате воздействия трибопрепарата Oil Package, существенно изменяются как по величине в сторону уменьшения, так и по характеру профиля неровностей. Класс шероховатости экспериментальных поверхностей на всех образцах был получен не ниже 11В (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение показателей шероховатости и задиров

Наименование параметра шероховатости поверхности детали по ГОСТ 2789, ГОСТ 25142 (ИСО 11562–1996)	Значения параметров шероховатости поверхности образцов			
	Исходные – после шлифования		После испытания на устройстве с применением Oil Package	
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 1	Образец № 2
1	2	3	4	5
R_a (среднеарифм. отклонен.), мкм	1,52	0,0917	0,056	0,0023
Класс шероховатости по ГОСТ 2789 (ISO 1302)	6В	10В	11В	14В
R_z (высота неровн. по 10 точкам), мкм	10,2	1,08	0,181	0,00683
R_{max} , R_y (максим. высота неровн.), мкм	20,7	2,10	0,181	0,00426
R_p (высота макс. выступа), мкм	11,8	1,28	0,090	0,0201
λ_m (средн. шаг неровности), мкм	69,1	12,0	629	1260
R_v , R_m (глуб. макс. впадины), мкм	8,82	0,815	0,090	0,0225
S (ср. шаг местных выступов), мкм	12,4	5,14	32,4	26,9
$\Delta\alpha$ (ср. арифм. наклон. проф), гр.	6,52	2,43	0,033	0,00101

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Дд (среднеквадр. наклон. проф.), гр	8,45	3,21	0,037	0,00227
l _о (относит. длина проф)	1,01	1,00	1,00	1,00
Рд (среднеквадр. откл.), мкм	2,36	0,146	0,063	0,00284
L _о (длина растянут. профиля), мкм	5450	4580	8750	8750
λ _а (средн. длина волны), мкм	87,2	13,6	610	826
λ _д (среднеквадр. дл. волны), мкм	67,8	10,3	547	368
Задир на поверхности образцов при нагрузке	Задир при нагрузке 35...40 Н·м в чистом моторном масле		Нет задира при нагрузке более 160 Н·м в моторном масле, содержащем Oil Package	

Из таблицы 1 следует, что отсутствие задира в паре трения при существенном снижении износа образцов свидетельствует о вероятности образования предполагаемого модифицированного слоя и вероятности увеличения площади контакта рабочих поверхностей деталей, что подтверждается существенным снижением коэффициента трения.

Стабилизация шероховатости поверхности трения образцов в процессе эксперимента наступала за время, которое не превышало 20...30 мин.

Результаты исследования по изнашиванию образцов при испытании трибопрепаратов в составе моторного масла по сравнению с чистым моторным маслом представлены на диаграмме (рисунок 6).

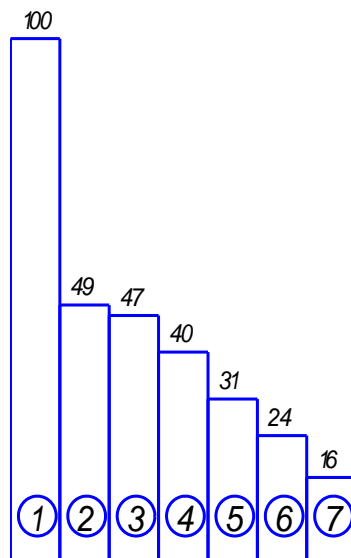


Рисунок 6 – Диаграмма изменения суммарного износа в процентах образца и контролобразца при трении в масле с трибоматериалами относительно износа образцов в чистом моторном масле, принятого за 100%:

- 1 – Моторное масло – Лукойл SAE 10W-40, APISG/CD; 2 – Реагент-2000;
 3 – Супротек универс.; 4 – Форсан; 5 – Micro-Ceramic Wagner; 6 – RVS;
 7 – Oil Package фирмы Wagner

Из рисунка 6 следует, что все трибопрепараты на машине трения снизили износ образцов по сравнению с износом тех же образцов на чистом моторном

масле, в 2 раза и более, а трибопрепараты фирмы Wagner, уменьшили суммарный износ образцов более чем в 6 раз.

Известно, что свыше 75% потерь мощности двигателя приходится на механические потери при трении поршневых колец в сопряжении с «зеркалом» гильз цилиндров. В связи с этим на машине трения СМЦ-2 по разработанной методике определены зависимости коэффициентов трения при воздействии трибоматериалов, представленные на рисунке 7, с учетом усилия давления газов в камере сгорания.

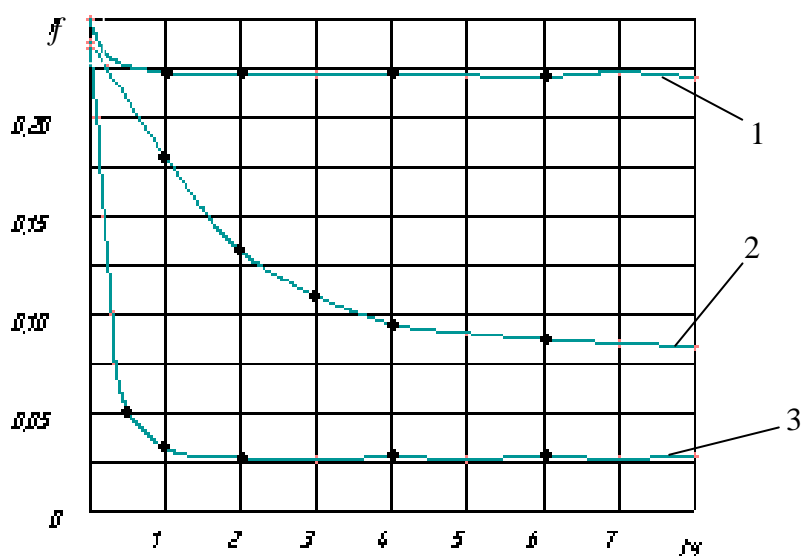


Рисунок 7 – Влияние трибоматериалов в составе моторного масла на изменение коэффициента трения:

- 1 – чистое моторное масло; 2 – PVC в составе моторного масла;
3 – Oil Package в составе моторного масла

Из рисунка 7 следует, что при максимально возможном приближении условий трения на машине трения к условиям трения поршневого кольца и «зеркала» гильзы, добавка трибоматериала Wagner в моторное масло может существенно снизить коэффициент трения в главных ресурсопределяющих сопряжениях деталей цилиндра-поршневой группы, а также в сопряжениях других механизмов машин и тем самым существенно сократить механические потери в ДВС.

Результаты исследования коэффициента трения в сопряжении антифрикционного сталеалюминиевого сплава и закаленной стали представлены на рисунке 8.

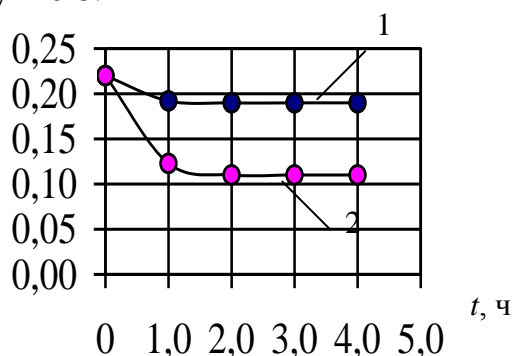


Рисунок 8 – Влияние трибоматериала на изменение коэффициента трения в трибосопряжении антифрикционного сталеалюминиевого сплава и закаленной стали 45:

- 1 – синтетическое масло Mobil super SW-40;
2 – Oil Package в составе синтетического масла

Из рисунка 8 следует, что в подобном подшипниковом сопряжении коленчатого вала трибопрепарат фирмы Wagner может существенно снижать коэффициент трения (более чем на 25%).

Период стабилизации коэффициента трения на рисунках 7 и 8 не превышающий одного часа, а также стабилизация шероховатости поверхностей образцов по профилограммам, которая меньше 20 минут могут указывать на очевидность возможного существенного сокращения периода эксплуатационной послеремонтной обкатки ДВС не менее чем на 90%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что трибопрепараты фирмы Wagner экспериментально подтверждают выдвинутые предпосылки (рисунок 1), так как во всех экспериментальных трибосопряжениях, максимально приближенных к условиям трения в ресурсных сопряжениях ДВС, не наблюдалось образования задиров и существенно снижался коэффициент трения. Кроме того, выявленные рациональные трибопрепараты фирмы Wagner из большого числа препаратов, подтвердили достоверность предложенного метода диагностики и выбора трибоматериала для повышения долговечности ДВС.

Результаты проверки достоверности лабораторных исследований и эффективности применения трибопрепарата Oil Package Wagner на двигателе Д-240 (МТЗ), установленном на обкаточно-тормозном стенде КИ-5543, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытания двигателя Д-240

Наименование параметра двигателя	Среднее значение параметра до применения трибопрепарата	Среднее значение параметра после применения трибопрепарата	% изменения показателя
Часовой расход топлива G_T , кг/ч	2,51	2,12	15,5
Цикловая подача топлива $q_{ц}$, мг/цикл	11,27	9,74	13,5
Удельный индикаторный расход топлива q_i , г/кВт·ч	187	163	12,8
Индикаторный КПД	0,46	0,53	15,2
Механические потери при прокрутке, кВт	8,43	7,99	5,2

Испытания на стенде показали, что потери мощности на механическое трение в сопряжениях механизмов двигателей снизилась на 5,2% и повысилась компрессия в цилиндрах двигателя. В этой связи существенно снизился часовой расход дизельного топлива на 15,5% и соответственно повысился индикаторный КПД на 15,2%.

Эксплуатационная проверка эффективности трибоматериалов фирмы Wagner подтвердили результаты лабораторных триботехнических исследований и стендовых испытаний ДВС.

В пятой главе «Экономическая эффективность внедрения результатов исследования» приведен расчет экономического эффекта от внедрения разрабо-

танных рекомендаций на примере трактора МТЗ, который состоит из эффекта за счет увеличения послеремонтного ресурса до первого отказа третьей группы сложности и за счет экономии дизельного топлива. Общий ожидаемый эффект от внедрения результатов исследования на один трактор МТЗ составляет 64575 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Долговечность и безотказность отремонтированных автотракторных двигателей закладывается в период обкатки и поддерживается в условиях эксплуатации. Показано, что увеличить послеремонтную наработку до отказа третьей группы сложности ДВС, можно повышением качества эксплуатационной обкатки за счет использования рациональных трибоматериалов. Установлено, что рациональными трибопрепаратами являются трибоматериалы фирмы Wagner в составе моторных масел.

2. Разработан и обоснован метод выбора рациональных трибоматериалов для ускорения обкатки и повышения долговечности и безотказности ДВС после ремонта. На устройство для диагностики и испытания масел, содержащих трибоматериалы, при трении получен патент РФ на полезную модель (патент 104722, Бюл. № 14 от 20.05.2011). Разработанный экспресс-метод и при использовании его в условиях ЦРМ СХП позволяет выявить рациональные трибопрепарат по отсутствию задира в паре трения и коэффициенту трения, который не должен превышать значения, равного 0,05. Предложенный экспресс-метод подтвержден положительным решением ФИПС (РОСПАТЕНТ) о выдаче патента на изобретение 14.04.2014 № 2014114667 / 28 (022993) «Способ предотвращения задиров в парах трения».

3. В результате триботехнических исследований трибоматериалов в составе моторного масла в условиях трения приближенных к условиям трения ресурсных сопряжений двигателя установлено, что выявленные, при помощи разработанного метода, рациональные трибоматериалы Oil Package и Micro-Ceramic Wagner по сравнению с другими трибоматериалами существенно снижают коэффициент трения, который не превышает 0,05, и износ образцов в 5...7 раз. Время стабилизации коэффициента трения не превышает одного часа. Установлено, что при наличии в масле трибопрепарата Oil Package, изменение исходной шероховатости шлифованной поверхности образцов в пределах от 6В класса до 10В (ГОСТ 2789) не оказывает влияния на образование задир в трибосопряжении. Стабилизация шероховатости наступает через 20...30 мин при испытании образцов.

4. Обоснована возможность сокращения периода послеремонтной эксплуатационной обкатки ДВС, которая может быть не менее 20 мото-ч вместо нормативных 60...120 мото-ч без образования задиров и, что наработка до первого ресурсного отказа может быть увеличена в два и более раза за счет использования рациональных трибоматериалов Wagner. Применение трибоматериалов Wagner исключают образование задиров в ресурсных сопряжениях и существенно снижает интенсивность изнашивания деталей.

5. Испытания двигателя Д-240 с трибопрепаратом в составе моторного масла на стенде КИ-5543 подтвердили результаты лабораторных триботехнических исследований трибоматериалов.

Эффективность трибопрепарата Oil Package Wagner при стендовых испытаниях характеризуется повышением нижеследующих основных показателей:

- часовой расход топлива сократился на 15,5%;
- потери мощности на механическое трение уменьшились на 5,2%;
- удельная цикловая подача топлива и удельный индикаторный расход топлива сократились соответственно на 13,5% и 12,8%;
- индикаторный КПД увеличился на 15,2%.

6. Разработана и внедрена технология ускоренной послеремонтной обкатки и повышения долговечности ДВС применением трибоматериалов фирмы Wagner.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования на один трактор МТЗ составляет 64575 руб.

7. Учебное пособие «Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин» с участием автора диссертации, издано в 2010 г. в ГНУ ГОСНИТИ и внедрено в учебный процесс ФГБОУ ВПО Челябинская государственная агроинженерная академия.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Ольховацкий, А.К. Повышение ресурса двигателей тракторов применением восстановительных и противоизносных препаратов в процессе эксплуатации / А.К. Ольховацкий, Л.Г. Солодкин, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2006. – Т. 98. – С. 28–30.

2. Лялякин, В.П. Наноматериалы для продления послеремонтного ресурса тракторных трансмиссий и экономии топлива / В.П. Лялякин, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман**, А.П. Шавкунов // Труды ГОСНИТИ. – 2010. – Т. 105. – С. 53–56.

3. Лялякин, В.П. Наноматериалы для продления послеремонтного ресурса тракторных трансмиссий и экономии топлива / В.П. Лялякин, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман**, А.П. Шавкунов // Технология металлов. – 2011. – № 1. – С. 25–27.

4. Ольховацкий, А.К. Методика выбора рационального трибопрепарата для продления послеремонтного ресурса ДВС в сельхозпредприятиях / А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 110. – Ч. 1. – С. 75–78.

5. Лялякин, В.П. К вопросу сокращения продолжительности послеремонтной эксплуатационной обкатки трактора / В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман**, С.М. Коновалов // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 110. – Ч. 2. – С. 38–42.

6. Соловьев, Р.Ю. Повышение послеремонтной надежности ДВС применением наноматериалов / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111. – Ч. 2. – С. 40–44.

7. Соловьев, Р.Ю. Эксплуатационные испытания двигателей ЗМЗ-4062 при добавлении в моторное масло нанопрепарата фирмы «Wagner» Universal – Micro-CeramicOil / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, А.В. Гриценко, С.С. Куков, Д.Д. Бакайкин, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 112. – Ч. 1. – С. 119–127.

8. Лялякин, В.П. Повышение послеремонтной безотказности ДВС и трансмиссий тракторов применением наноматериалов / В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 90–97.

9. **Гительман, Д.А.** Исследование трибосоставов на основе гексагонального нитрида бора / Д.А. Гительман, А.В. Дунаев, В.Н. Колокольников, К.С. Поджарая, Р.Ю. Соловьев // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 115. – С. 66–70.

10. Соловьев, Р.Ю. О влиянии шероховатости поверхности деталей на образование задира в трибопаре при использовании некоторых марок трибоматериалов в составе масел / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 117. – С. 201–203.

11. Соловьев, Р.Ю. Выбор рационального трибопрепарата для повышения послеремонтной долговечности дизелей / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, В.П. Лялякин, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 117. – С. 220–222.

12. Повышение послеремонтной долговечности дизелей тракторов применением трибопрепаратов / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, Л.А. Солодкина, **Д.А. Гительман** // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 134–137.

2. Статьи в других изданиях, включая труды международных и всероссийских научно-технических конференций

13. **Гительман, Д.А.** Повышение послеремонтного ресурса двигателей и трансмиссии тракторов в сельском хозяйстве / Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий // Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования: материалы 7-й Международной практической конференции-выставки. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. – С. 653–654.

14. Ольховацкий, А.К. Возможности повышения послеремонтного ресурса двигателей и трансмиссии тракторов, отремонтированных в ЦРМ сельхозпредприятий и МТС / А.К. Ольховацкий, Е.В. Солоницын, **Д.А. Гительман** // Машинно-технологическая станция. – 2005. – № 2(11). – С. 23–24.

15. Ольховацкий, А.К. Повышение ресурса трансмиссий машин применением восстановительных, антифрикционных и противоизносных добавок /, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман**, Л.Г. Солодкин // Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования: материалы 8-й Международной практической конференции. – Ч. 2. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. – С. 333–335.

16. Ольховацкий, А.К. Повышение ресурса двигателей тракторов применением восстановительных и противоизносных препаратов в процессе эксплуатации / А.К. Ольховацкий, Л.Г. Солодкин, **Д.А. Гительман** // Машинно-технологическая станция. – 2007. – № 3. – С. 31–32.

17. Ольховацкий, А.К. Экономия дизельного топлива применением наноматериалов в смазочных маслах ДВС и агрегатов тракторов / А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман** // Инженеринг, инновации, инвестиции: сб. научных тр.; под ред. В.В. Ерофеева. – Челябинск: ЧНЦ РАЕН, 2010. – С. 71–75.

18. Ольховацкий, А.К. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин: учебное пособие; под ред. академика В.И. Черноиванова / А.К. Ольховацкий, В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, Ю.А. Мазалов, **Д.А. Гительман**, В.И. Черноиванов // М.: ГНУ ГОСНИТИ, 2010. – 68 с.

19. **Гительман, Д.А.** Исследование изнашивания пары трения в масляных смесях, содержащих наноматериалы / Д.А. Гительман, В.В. Ерофеев, А.К. Ольховацкий // Наука и производство: сб. науч. тр.; под ред. В.В. Ерофеева. – Челябинск: ЧРО РАЕН, 2011. – С. 50–55.

20. Ольховацкий, А.К. Применение наноматериалов для повышения эксплуатационных показателей дизелей тракторов / А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман** // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2011. – Т. 58. – С. 143–145.

21. Ольховацкий, А.К. Применение и выбор энергосберегающей технологии послеремонтной ускоренной обкатки и продления ресурса двигателей тракторов / А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман**, В.В. Ерофеев // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LI Международной научно-технической конференции; под ред. д-ра техн. наук, профессора Н.С. Сергеева. – Ч. 4. – Челябинск: ЧГАА, 2012. – Ч. 4. – С. 58–63.

22. Ольховацкий, А.К. Выбор наноматериалов для послеремонтной ускоренной обкатки и продления ресурса двигателей тракторов / А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман**, В.В. Ерофеев // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы 25-й юбилейной Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова. – Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2012. – С. 210–213.

23. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий в АПК: монография; под общей ред. академика В.И. Черноиванова / В.И. Черноиванов, В.Ф. Федоренко, Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, В.П. Лялякин, **Д.А. Гительман** [и др.]. – М.: ГНУ ГОСНИТИ, 2012. – 499 с.

24. Безызносная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: монография; под общей ред. к.т.н., доцента Р.Ю. Соловьева / Р.Ю. Соловьев, С.Н. Шарифуллин, С.А. Соловьев, А.К. Ольховацкий, **Д.А. Гительман** [и др.]. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015. – 196 с.

25. Повышение долговечности машин и ремонтно-технологического обслуживания применением методов безразборного ремонта и реновационных технологий: учебное пособие / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, С.А. Соловьев, **Д.А. Гительман** [и др.]. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015. – 236 с.

26. Соловьев, Р.Ю. Экспресс-метод выбора рационального триботехнического состава для безызносной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: технологические рекомендации по техническому сервису ДВС для специа-

листов сервисных предприятий и владельцев автотракторной техники и легковых автомобилей / Р.Ю. Соловьев, Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015. – 40 с.

3. Патенты на изобретения и полезные модели

27. Пат. на полезную модель № 97323 РФ. Смазочный стержень / **Гительман Д.А.** – № 2010118708/11; заявл. 11.05.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 25. – 2 с.

28. Пат. на полезную модель № 97694 РФ. Устройство для подачи смазочного стержня / **Гительман Д.А.** – № 2010123134/11; заявл. 07.06.2010; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26. – 2 с.

29. Пат. 2415907 РФ. Антифрикционная композиция / **Гительман Д.А.** – № 2009122452/04; заявл. 10.06.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10. – 1 с.

30. Пат. на полезную модель № 104722 РФ. Устройство для испытания масел при трении / **Гительман Д.А.**, Ольховацкий А.К. – № 2011101167/28; заявл. 13.01.2011; опубл. 20.05.2011, Бюл. № 14. – 2 с.

31. Пат. 2568966 РФ. Способ предотвращения задиров в парах трения / **Гительман Д.А.**, Ольховацкий А.К., Солодкина Л.А. – № 2014114667/28; заявл. 14.04.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32. – 4 с.