

Министерство сельского хозяйства РФ
Российская академия сельскохозяйственных наук
Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский технологический институт
ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка
Российской академии сельскохозяйственных наук
(ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии)
ФГОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия»



НАНОМАТЕРИАЛЫ

В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ

МАШИН

Учебное пособие для студентов
высших учебных заведений
по агроинженерным специальностям
по редакцией академика РАСХН
В.И. Черноиванова

Министерство сельского хозяйства РФ Российская академия сельскохозяйственных наук
Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский технологический институт
ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка
Российской академии сельскохозяйственных наук
(ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии)
ФГОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия»

НАНОМАТЕРИАЛЫ В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Учебное пособие для студентов высших учебных заведений
по агроинженерным специальностям
под редакцией академика РАСХН В.И. Черноиванова

Челябинск-Москва 2010

УДК 631.3-049.7:620.3 ББК40

Учебное пособие подготовлено канд. техн. наук профессором А.К. Ольховацким, докт. техн. наук профессором В.П. Лялякиным, канд. техн. наук доцентом РЮ. Соловьевым, докт. техн. наук профессором Ю.А. Мазаловым, Д.А. Гительманом под руководством академика РАСХН В.И. Черноиванова.

Изложены основные сведения о наноматериалах (трибопрепаратах), предназначенных для продления послеремонтного ресурса ДВС и трансмиссии машин, приведены результаты лабораторных триботехнических исследований наноматериалов, показана эффективность применения наноматериалов в составе смазочных материалов двигателей и трансмиссии на стендах и в условиях штатной эксплуатации машин.

Учебное пособие включает в себя технологические рекомендации по применению наноматериалов для продления послеремонтного ресурса ДВС без разборки.

Предназначено для студентов сельскохозяйственных инженерных факультетов высших учебных заведений, ФПК и специалистов, работающих в области технической эксплуатации и сервиса машин в АПК.

Рецензент: В.В. Ерофеев - академик технологической академии РФ, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология и организация технического сервиса» ФГОУ ВПО (Челябинская государственная агроинженерная академия).

ISBN

©ГОСНИТИ, 2010

Введение

С начала переходного периода (1991 г.) и реформирования экономики в России до настоящего времени производство и поставка сельскому хозяйству тракторов и комбайнов сократилась более чем в 20 раз, средний возраст машинно-тракторного парка увеличился с 6-8 и до 12-14 лет. В связи с этим годовая нагрузка обработки пашни на один физический трактор возросла с 93 до 148 га. В западных странах средний возраст машин превышает 30 лет, а нагрузка не превышает 35 га (США), еще меньше она в ФРГ и других странах Европы. В результате удельный вес затрат на ремонт тракторов в структуре себестоимости основных видов продукции возрос с 3-5% до 12-15% [1]. Значительное уменьшение парка машин на селе стало одной из причин сокращения посевных площадей на 35-40 млн га.

Перед началом сезонных полевых работ количество исправных тракторов сократилось с 85 до 74%, готовность техники к проведению сезонных сельскохозяйственных работ - с 92 до 77%. Это объясняется тем, что в настоящее время эксплуатируемые мобильные технологические машины в сельском хозяйстве более чем на 75 - 85% выработали свой ресурс. Износ основной техники является причиной низкой производительности труда, большого количества отказов тракторов и других машин после неоднократных ремонтов, а также причиной увеличения простоев машин в поле, и, следовательно, к недобору и потерям сельхозпродукции.

Ремонтно-обслуживающие предприятия (РОП) в этот период претерпели существенные изменения: использование производственных мощностей снизилось до 20%; более чем в пять раз сократилась численность работающих в РОП; обеспеченность РОП ремонтно-технологическим оборудованием (РТО) из-за прекращения серийного производства резко снизилась, а имеющееся оборудование изношено и устарело. (До 1991 г. в России было около 200 заводов и специализированных цехов, серийно выпускающих ремонтно-технологическую оснастку.)

В связи с этим в течение последних 15-20 лет фактически все виды ремонтов двигателей и агрегатов трансмиссий сельхозтехники выполняются в центральных ремонтных мастерских (ЦРМ) сельхозпредприятий (СХП), несмотря на то, что ресурс при этом значительно ниже ресурса, установленного техническими требованиями.

Анализ данных по послеремонтному ресурсу отремонтированных тракторов в ЦРМ СХП и других ремонтных предприятиях показывает, что из-за неизбежных дефектов при ремонте, использования некачественных запасных частей, а также использования низкого качества топливно-смазочных материалов, допустимые и предельные значения износов деталей и зазо-

ров в ресурсных сопряжениях наступают значительно раньше нормативных сроков, при небольшой наработке машин. Таким образом, появилась острая необходимость в изыскании других, альтернативных традиционному ремонту, способов повышения послеремонтного ресурса агрегатов машин.

В результате анализа большого количества источников нами установлено, что существенно продлить ресурс дизельных двигателей и других агрегатов тракторов в режиме штатной эксплуатации, предположительно можно с помощью специальных наноматериалов - восстановительных антифрикционных и противоизносных добавок (ВАФПИД) к смазочным материалам. В настоящее время в России и за рубежом производится около 200 различных препаратов ВАФПИД.

Наноматериалы (трибопрепараты) к маслам отличаются от многочисленных присадок к маслам тем, что присадки «работают» на масло, улучшая эксплуатационные свойства масел, в том числе и противоизносные, а нанопрепараты ВАФПИД «работают» на металл, улучшая эксплуатационные свойства рабочих поверхностей деталей, причем эти препараты не реагируют с маслами и не ухудшают их качество. Необходимо отметить, что вместо наименования «Восстановительные антифрикционные и противоизносные добавки (ВАФПИД)» чаще используется термин «наноматериалы» [2,3,4]. Вполне допустимо применение также терминов «Трибопрепараты», «нано-добавки», «нанопрепараты» и др.

В связи с тем, что в техническом сервисе машин в АПК из-за большого многообразия условий эксплуатации машин, степени сложности механизмов и машин и отсутствия устоявшейся по данному виду технического сервиса терминологии в учебном пособии используются все вышеприведенные термины. Целью учебного пособия является расширить и углубить знания и технологическую подготовку студентов по продлению послеремонтного ресурса машин применением наноматериалов.

1. Краткий анализ уровня качества ремонта тракторов, отремонтированных в ЦРМ сельхозпредприятий в специализированных ремонтных предприятиях

1.1. Ресурс дизельных двигателей тракторов после капитального ремонта

На тракторах и автомобилях отечественного производства устанавливаются дизельные двигатели следующих марок: Д-240, А-41, ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-240Б, СМД-62, КАМАЗ-740 и др.

Тракторы, сельхозмашины и другие сельскохозяйственные установки в большинстве своем в качестве силовых установок имеют дизельные двигатели, эффективная эксплуатация которых определяется многими показателями, закладываемыми в них на различных стадиях конструирования, изготовления, эксплуатации и ремонта. Согласно некоторым данным [6, 7, 8, 9, 10] можно утверждать, что в настоящее время до 95% дизелей, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве, прошли неоднократно капитальный ремонт. Это предопределяет особое внимание к качеству ремонта дизелей в центральных ремонтных мастерских сельхозпредприятий, т.к. специализированные ремонтные предприятия практически ликвидированы. Известно, что основным показателем качества ремонта является надежность, которая в свою очередь определяется показателями долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости. Так, если ремонтпригодность и сохраняемость существенно не влияют на различие в эксплуатации новых и капитально отремонтированных дизелей, то изменение показателей безотказности и долговечности отремонтированных дизелей в сторону их ухудшения приводит к значительным потерям сельскохозяйственной продукции в хозяйствах.

Проведенные ранее исследования показывают, что даже у двигателей, прошедших капитальный ремонт в специализированных ремонтных предприятиях, межремонтный период уменьшается в сравнении с доремонтным до 30- 50% [11].

На рисунке 1 представлены данные долговечности двигателей разных марок до и после капитального ремонта, полученные ГОСНИТИ в результате наблюдений в условиях рядовой эксплуатации [9]

Результаты исследований, представленные на рисунке 1, были выполнены в начале 80-х гг., когда предприятия системы «Сельхозтехника» находились на самом высоком техническом уровне. И, несмотря на это, послеремонтный ресурс дизелей был низок, что показано в таблице 1 [11].

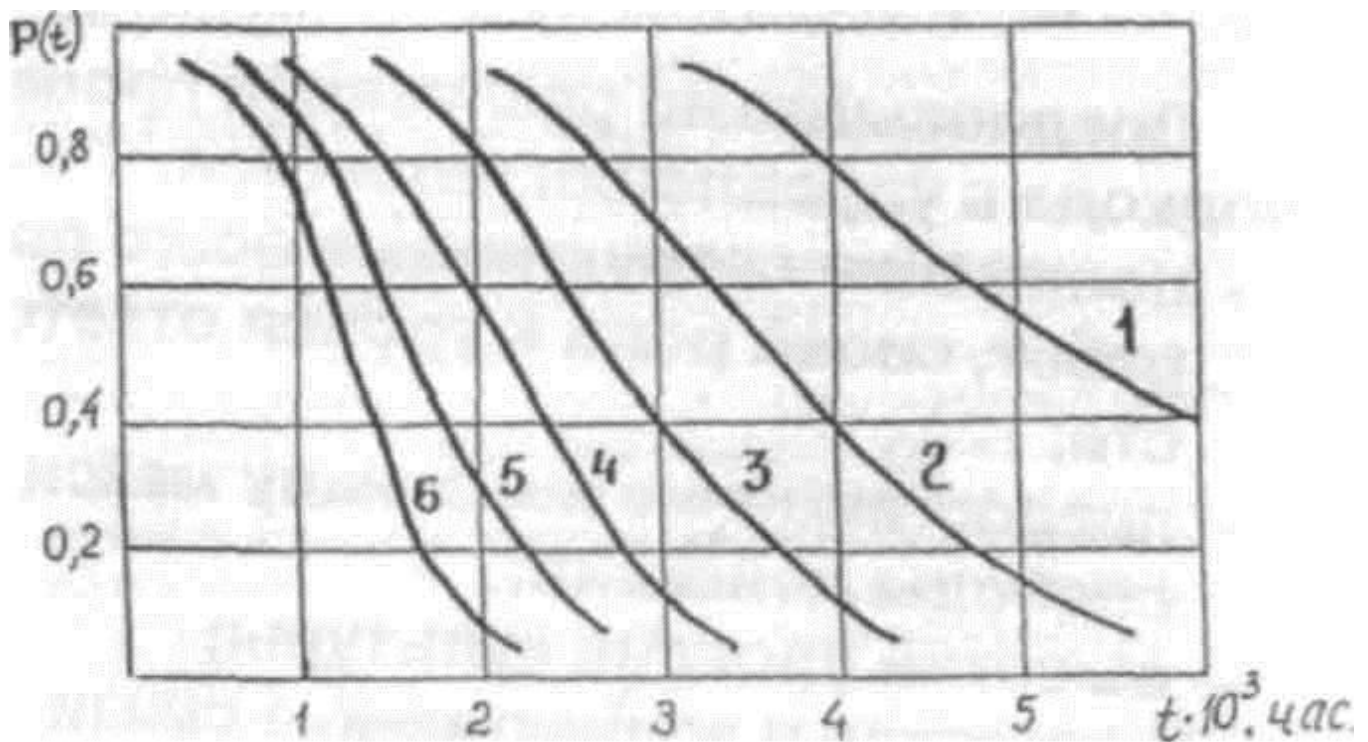


Рис. 1. Убыль ресурса новых и капитально отремонтированных дизелей 1.3-Д-240; 2.5-ЯМЗ-238НБ; 4.6-А-41 соответственно

Эта информация позволяет сделать вывод о недостаточном уровне долговечности как капитально отремонтированных дизелей, так и долговечности новых двигателей.

В настоящее время на предприятиях технического сервиса качество ремонта дизелей еще более снизилось, что подтверждается результатами проверки органами Гостехнадзора [12], представленными на рисунке 2.

Таблица 1

ПОКАЗАТЕЛИ ПОСЛЕРЕМОНТНОГО РЕСУРСА ДИЗЕЛЕЙ

Показатели	Значение показателей				
	СМД-62	Д-240	А-41	ЯМЗ-238НБ	ЯМЗ-240
80% гамма-ресурс, м.-час достигнутого значения параметра к нормативу	1000 0,25	2200 0,55	950 0.24	1000 0.25	1000 0,25

Из диаграммы следует, что качество работ, связанных с ремонтом основных видов техники, остается на низком уровне на протяжении ряда лет и не носит стабильного характера.

Основные причины низкого качества ремонта техники на предприятиях сервиса - хронический недостаток в финансовых средствах, низкий уровень знаний механизаторов, слесарей, ремонтников, мастеров-наладчиков Ранее существовавшая система повышения квалификации кадров ремонт-

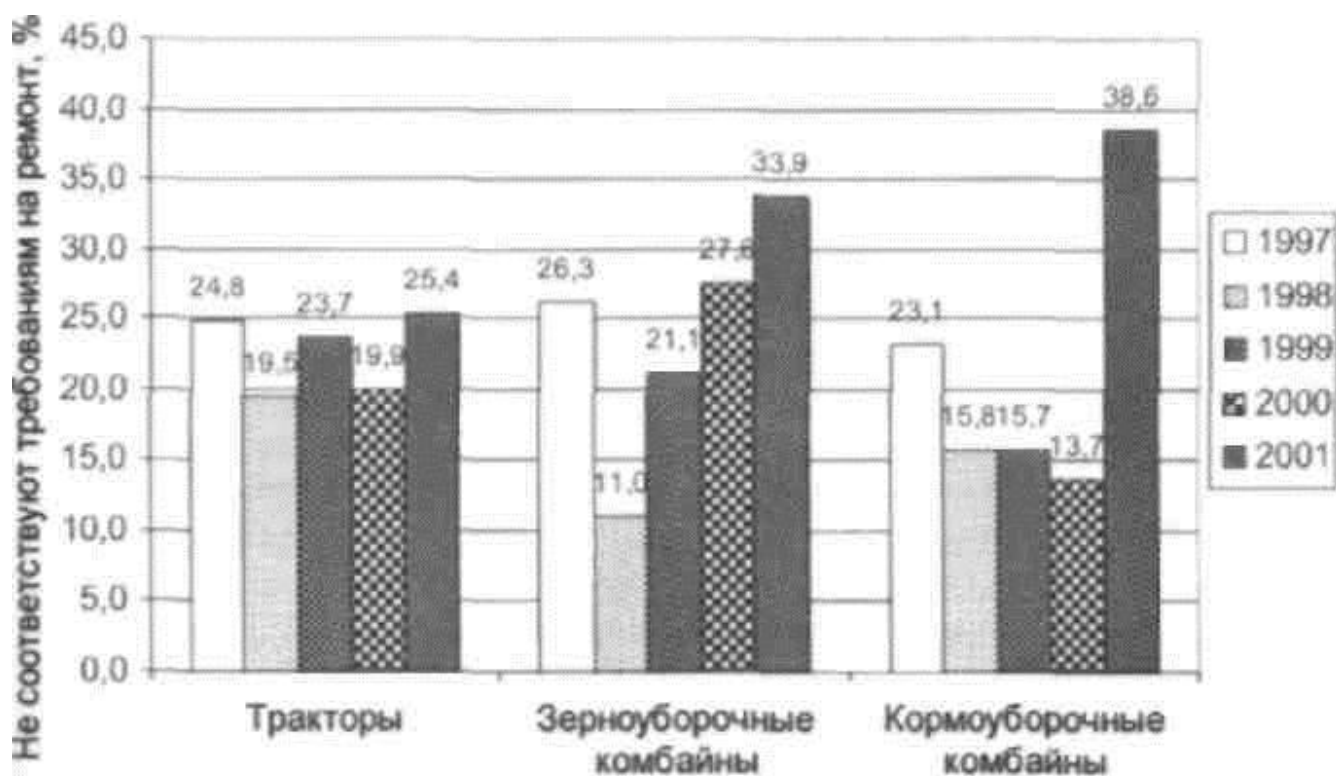


Рис. 2. Качество ремонта основных видов техники на предприятиях сервиса

ников на сегодняшний день практически не функционирует. На многих предприятиях отсутствует нормативно-техническая и технологическая документация.

На качество ремонта машин и оборудования оказывает также влияние значительный износ станочного и ремонтно-технологического оборудования (до 85%), нехватка на ремонтных предприятиях инженерно-технических работников, дефицит которых постоянно растет. На предприятиях сервиса не везде организован входной контроль поступающих в ремонт комплектующих изделий и запасных частей, предприятия не всегда проводят послеремонтную обкатку, часто не выдают на отремонтированную технику необходимую эксплуатационную документацию, устанавливают узлы и агрегаты с ограниченным ресурсом, имеется ряд других недостатков [12].

По данным М.А. Халфина [13] в настоящее время 80%-ный ресурс отремонтированных двигателей СМД-62, Д-240 и др. не превышает 500 - 570 мото-ч.

В сельхозпредприятиях, даже лучших в настоящее время, на устранение последствий отказов простои тракторов превышают 30 - 50 суток [10,14].

На основании вышеприведенных данных можно сделать вывод о том, что ресурс двигателей, отремонтированных в ЦРМ СХП, чрезвычайно низкий, и имеющимися техническими средствами в ЦРМ улучшить качество

ремонта, увеличить ресурс дизелей, хотя бы до 50% нормативного значения, невозможно. Следовательно, необходим поиск альтернативных способов повышения послеремонтного ресурса двигателей.

1.2. Отличительные особенности в динамике изменений зазоров в ресурсных сопряжениях новых и капитально отремонтированных дизельных двигателей

Преобладающими причинами поступления в капитальный ремонт двигателей являются износы деталей основных, или ресурсоопределяющих, сопряжений гильза-поршень и вкладыш-шейка коленчатого вала, проявляющихся в виде повышенных прорывов газов в картер, повышенного расхода масла на угар, посторонних стуках, низкого давления в главной масляной магистрали и других признаках. Кроме перечисленных причин, основанием для капитального ремонта служат повреждения блока цилиндров, задиры в сопряжениях гильза-поршень, шейка вала-вкладыши, износы сопряжений поршневой группы палец-поршень и поршневой палец-втулка верхней головки шатуна, поломки или деформации основных деталей.

В ГОСНИТИ многими авторами и, в частности, в исследованиях, проведенных А.А. Лаптевым, А.П. Самоцветовым и П.С. Фридрихом на Березовском ремонтном заводе [15], показано, что количество двигателей, поступающих в капитальный ремонт из-за износа деталей ресурсоопределяющих сопряжений, составляет около 80% как для новых, так и для капитально отремонтированных деталей. К сожалению, эти данные относятся к концу прошлого века, но тенденция износа ресурсоопределяющих деталей двигателя остается для современных машин с еще большим процентным показателем.

Необходимо особо подчеркнуть, что динамика изменения зазоров в ресурсоопределяющих сопряжениях двигателей у новых и после ремонта существенно отличается.

Различными исследованиями установлено ускоренное изнашивание деталей ресурсоопределяющих сопряжений после капитального ремонта в сравнении с деталями новых двигателей [16]. Так, на рисунке 3 показана динамика изменения зазоров ресурсоопределяющих сопряжений дизелей СМД-62 в условиях рядовой эксплуатации [13]. Приведенная закономерность показывает двукратное возрастание скорости увеличения зазоров в сопряжениях капитально отремонтированных двигателей.

А.С. Денисовым установлено [17], что отношение послеремонтных к до-ремонтным скоростям изнашивания ресурсоопределяющих деталей дизелей ЯМЗ-238НБ и ЯМЗ-240Б составляет 1,28-3,32.

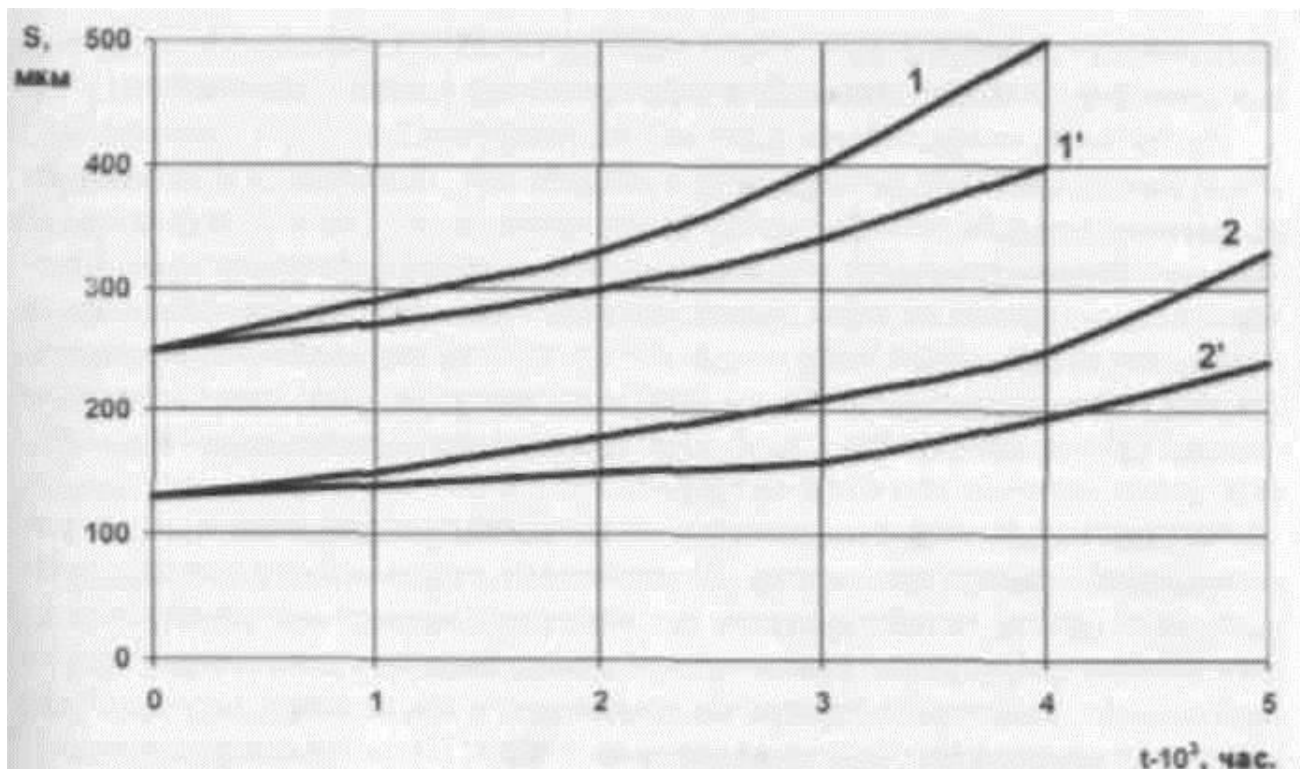


Рис. 3. Динамика изменения зазоров соответственно новых и капитально отремонтированных дизелей СМД-62 1,1 - гильза-поршень; 2,2- вкладыш-шатунная шейка

Анализируя вышеприведенные данные по изменению убыли ресурса двигателей после ремонта (рисунок 1), данные по качеству ремонта (рисунок 2), показатели послеремонтного ресурса дизелей (таблица 1) и особенно динамику роста скорости изнашивания ресурсных деталей (рисунок 3), необходимо более подробно обозначить основные причины изменения этих установленных закономерностей.

Основной причиной снижения долговечности отремонтированных двигателей является существенное отличие технологии их ремонта от технологии изготовления. Отсутствие в ЦРМ СХП и в РОП специализированного оборудования, мерительных приспособлений, стабильной технологии и необходимой квалификации исполнителей [12,13,16], а также небольшая программа ремонта и значительная разномарочность ремонтируемых двигателей. Большое значение имеет изменение технологических факторов при ремонте, величины которых имеют значительно большую вариацию, чем на заводах-изготовителях. К технологическим факторам относятся твердость, шероховатость поверхностей деталей подвижных сопряжений, геометрические размеры деталей [18].

В работе [18] указывается, что еще на заводах имеет место большое количество дефектов при сборке и затяжке деталей до 20%, искажение гео-

метрических размеров до 30 - 40%, при термообработке до 10% и т.д. Все эти производственные дефекты усугубляются при ремонте агрегатов в ЦРМ.

На скорость изнашивания деталей ресурсопределяющих сопряжений, а следовательно, и на долговечность двигателей, оказывает влияние одновременное воздействие большого количества технологических факторов. Так, скорость увеличения зазора гильза-поршень зависит от величин шероховатости и твердости зеркала гильзы, величины исходного зазора, овальности, конусности гильзы цилиндра, упругости поршневых колец, неперпендикулярности оси расточек блок-картера под вкладыши коленчатого вала и оси расточек блок-картера под бурты гильзы, зазора в сопряжении шатунная шейка коленчатого вала-вкладыш, изгиба шатуна и т.д.

На скорость изнашивания шатунных шеек коленчатого вала и шатунных вкладышей влияют изменения твердости и шероховатости поверхности шатунной шейки, изгиба шатуна, зазора в сопряжении шатунная шейка-вкладыш, нецилиндричности шатунной шейки, неперпендикулярности осей расточек блок-картера под коренные вкладыши и бурты гильзы и т.д. К сожалению, как показано в исследованиях ГОСНИТИ в процессе эксплуатации уменьшается твердость шейки коленчатого вала на 10-15 HRC.

Детали сопряжения коренная шейка коленчатого вала-вкладыш изнашиваются с различной интенсивностью в зависимости от твердости, шероховатости коренных шеек коленчатого вала, величины зазора в этом сопряжении, нецилиндричности коренной шейки, несоосности коренных шеек коленчатого вала, несоосности расточек блока под коренные вкладыши и т. д.

Таким образом, многочисленными исследованиями установлено, что скорость изнашивания деталей ресурсопределяющих сопряжений капитально отремонтированных двигателей внутреннего сгорания значительно превышает скорость изнашивания аналогичных деталей новых двигателей.

Из вышеприведенных закономерностей следует, что для замедления скорости возрастания зазоров в ресурсных сопряжениях деталей после капитального ремонта двигателей необходимо изыскать или создать способы или новые технологии, существенно снижающих износы деталей. Эту задачу предположительно можно решить путем применения восстановительных антифрикционных и противоизносных нанодобавок. Из большого количества нанопрепаратов ВАФПИД, насчитывающих около 200 марок, необходимо обосновать и выбрать наиболее рациональные, обеспечивающие повышение долговечности дизелей без разборочно-сборочных работ в ЦРМ СХП [27].

1.3. Ресурс трансмиссий тракторов, основные дефекты деталей и традиционные способы восстановления ресурсных сопряжений

Для анализа выбраны трансмиссия трактора типа МТЗ и задний мост трактора К-701.

Тракторы типа МТЗ наиболее распространены и задействованы практически во всех процессах сельскохозяйственного производства на всей территории России как зимой, так и летом. Тракторы К-700 и К-701 более распространены в регионах, производящих продовольственное зерно. Тракторы Т-150К не рассматриваются, т.к. они вытесняются тракторами Липецкого завода.

В настоящее время сроки использования тракторов типа МТЗ и К-700 превышают 20 лет вместо 10-15 лет, поэтому ресурс составных частей трансмиссий этих тракторов по всем расчётам исчерпан.

Из общего количества отказов составных частей новых тракторов на долю агрегатов трансмиссии приходится от 9 до 14% [19, 20].

За период перестройки экономики по данным ВНИМС уровень безотказности новых отечественных тракторов в реальной эксплуатации снизился на 40% [13, 20, 21].

Шасси тракторов МТЗ-50, так же как и двигателя в нормальной эксплуатации, имеют 80%-ный ресурс 6000 часов. В рядовой эксплуатации восьмидесятипроцентная наработка шасси составляет 4800 (данные МТЗ по 484 шасси), то есть на 20% меньше. И ещё один пример. Сравнивая износ шарикоподшипников тракторов МТЗ-50 в нормальных условиях эксплуатации, где масло заменялось по инструкции и было чистым, с условиями рядовой эксплуатации, установлено, что во втором случае, радиальные зазоры в подшипниках различных опор, после 6000 часов работы, в среднем оказались в 2-4 раза большими. А увеличенные зазоры в подшипниках, как известно, ускоряют износы почти всех деталей трансмиссии [22].

Еще более низкий ресурс и другие показатели надежности агрегаты трансмиссий имеют после капитального ремонта.

Коротко результаты анализа основных дефектов трансмиссий тракторов и типовых способов восстановления ресурсных сопряжений можно привести нижеследующие.

Износы посадочных поверхностей под подшипники и втулки корпусных деталей восстанавливаются следующими способами:

- обработкой под ремонтный размер;
- с использованием полимерных материалов;
- постановкой дополнительной ремонтной детали;
- наплавкой;

- электроконтактной приваркой ленты;
- металлизацией;
- посредством гальванических покрытий.

Цилиндрические шейки валов под подвижные и неподвижные посадки восстанавливают следующими способами:

- обработкой под ремонтный размер.
- постановкой дополнительной ремонтной детали,
- пластическим деформированием, наплавкой,
- электроконтактной приваркой ленты,
- металлизацией.
- использованием гальванических покрытий и полимерных материалов.

Изношенные шлицы восстанавливают следующими способами:

- ручной и механизированной дуговой наплавкой,
- пластическим деформированием:
- электроконтактной наплавкой с одновременной осадкой (комбинированный способ);
- заменой шлицевой части детали.

Зубчатые колёса - массовые детали машин, достаточно дорогие и дефицитные. Из-за сложности технологии их часто не восстанавливают, а заменяют новыми, что значительно удорожает ремонт машин и приводит к потерям материала. Главные трудности возникают при восстановлении зубьев. Для их восстановления разработано и опробовано несколько вариантов технологий, которые можно объединить в следующие группы:

- замена части детали;
- автоматическая наплавка без последующей термообработки;
- автоматическая наплавка с последующей термообработкой;
- пластическое деформирование;
- автоматическая наплавка с последующим деформированием.

В настоящее время, когда ремонт составных частей машин выполняют предприятия эксплуатирующие технику, с целью продления сроков службы своих машин изношенные детали, при отсутствии дефицита запасных частей, заменяются на новые или на бывшие в употреблении, но исправные. Стоимость ремонта в этом случае складывается из стоимости запасных частей и затрат на разборку и сборку, а также затрат от простоя машины.

Из приведенного краткого анализа типовых технологий ремонта транс миссий тракторов и других известных технологий следует, что при ремонте агрегатов в условиях ремонтно-обслуживающих предприятиях и в ЦРМ СХП, при которых имеет место отклонения от технических требований, качество ремонта, а следовательно, и ресурс агрегатов низкие. Затраты труда, энергии и материалов велики, простои тракторов в ремонте также велики.

Из проведенного краткого научного обзора следует, что необходим поиск новых энерго- и ресурсосберегающих технологий, позволяющих без разборочно-сборочных работ продлить ресурс агрегатов трансмиссий в процессе штатной эксплуатации тракторов. Предположительно существенно продлить ресурс можно с помощью нанотехнологий применением нанопрепаратов ВАФПД[28].

2. Краткая характеристика наноматериалов для безразборного продления послеремонтного ресурса дизельных двигателей и агрегатов трансмиссий тракторов

Долговечность и работоспособность агрегатов мобильной техники во многом определяется качеством смазочной среды [23, 24]. Необходимые приработочные и эксплуатационные свойства масел определяются набором специальных присадок, вводимых в базовую минеральную или синтетическую основу.

Использование же специальных новых нанодобавок ВАФПД к применяемым в настоящее время маслам позволяет, не ухудшая эксплуатационных параметров масел, обеспечивать формирование на поверхностях трения деталей машин необходимую структуру антифрикционного слоя с высокими триботехническими характеристиками. Таким образом, при наличии высоких противоизносных характеристик современных смазочных материалов, и дополнительно от создаваемого, при введении в смазку специальных нанодобавок, антифрикционного слоя, можно существенно увеличить срок службы ресурсных сопряжений в механизмах машин. При этом создание самих антифрикционных покрытий на поверхностях трения деталей можно осуществлять безразборным способом, обеспечив лишь доставку соответствующих наноматериалов в зоны трения. Доставку наноматериалов целесообразно осуществлять путем введения их в состав смазочных масел, которые всегда присутствуют в узлах трения машин.

Все известные в настоящее время нанодобавки ВАФПД по компонентному составу и физико-химическим процессам взаимодействия их с трущимися поверхностями, по свойствам защитно-восстановительных покрытий, а также по механизму функционирования в эксплуатационном режиме, по нашему мнению, можно разделить на четыре класса [25, 26, 2, 3]:

- модификаторы трения,
- реметализанты,
- кондиционеры,
- ревитализанты.

Для того чтобы выбрать рациональные наноматериалы для проведения лабораторных исследований, стендовых и производственных испытаний, нами сделана упрощенная классификация наиболее распространенных препаратов, представленная в виде таблицы 2 [27]. В таблице 2 указаны основные показатели нанопрепарата, классы и марки, а также некоторые особенности их применения.

Таблица 2

КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОПРЕПАРАТОВ - ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ, АНТИФРИКЦИОННЫХ И ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ДОБАВОК (ВАФПИД), ПРОДЛЕВАЮЩИХ РЕСУРС МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

Класс нано-препаратов	Модификаторы трения	Реметализанты	Кондиционеры Металла	Ревитализанты
Распространенные марки препаратов Основные характеристики препаратов	Форум, Аспект, Ум х-2 и др.	Римет. Ресурс, Супермет и др.	Феном, RENOM, ER. ENERGY RELEASE, WAGNER ECO-Universal и др.	RVS (PBC), ХАДО, ФОРСАН, СУПРОТЕК, НИОД, ОМКА, РЕАГЕНТ-2000, WAGNER Micro-Ceramic Oil и ДР
Основное назначение	Снижение коэффициента трения в 3-4 раза и сил трения в ресурсных сопряжениях	Снижение коэффициента трения в 1,5-2 раза. Частичное восстановление размеров деталей ресурсных сопряжений	Снижение трения в 5-7 раз. Защита от задиоров и преждевременного износа ресурсных сопряжений	Снижение трения в 3-5 раз. Восстановление геометрии деталей в зоне износа, компенсация задиоров в паре трения деталей ресурсных сопряжений
Границы применения по величине износа ДВС	До 30%	До 40 - 50%	До 40%	До 70%
Механизм действия	Образование антифрикционных и противоизносных пленок на поверхностях деталей трибосопряжениях (сервовитные пленки и другие виды модифицирования поверхностей трибосопряжений)			Образование защитного слоя металлокерамики (МКЗС) на молекулярном уровне с поверхностью детали. Слой до 0.1-0,2 мм. обладает высокой твердостью и износостойкостью
Влияние на изменение физико-химических свойств ТСМ	возможно (минус)	возможно (минус)	отсутствует (плюс)	отсутствует (плюс)

Из таблицы 2 следует, что наиболее эффективными нанопрепаратами являются нанодобавки 3 и 4 класса.

Для более полного представления о препаратах 3 и 4 классов необходимо привести их краткую характеристику.

Нанопрепараты 3 класса (таблица 2).

Кондиционеры [25,26,3] воздействуют непосредственно на металл трущихся поверхностей деталей, создавая защитный (сервовитный) слой. Радикально снижают трение и износ, исключают образование задиров. Используются для обработки как новых (включая период обкатки), так и изношенных агрегатов, в частности ДВС. Эти препараты не меняют физико-механических показателей моторных или трансмиссионных масел, консистентных смазок, топлив или других технологических жидкостей, которые являются лишь носителями для доступа к узлу трения. Кондиционеры металла обеспечивают стойкий противоизносный эффект даже при масляном голодании и в случае утечки масла. Практика применения кондиционеров металла показывает, что кондиционеры позволяют одновременно решать две задачи - понизить трение и износ.

Как показывает анализ применяемости препаратов этого класса, лучшими представителями кондиционеров металла являются ER-Energy Release (США), ФЕНОМ (Россия) и WAGNER (Германия).

Механизм действия препаратов данного класса основан на взаимодействии (адсорбции) их поверхностно-активных компонентов с поверхностями трения. Ионизированные молекулы кондиционеров металла, проникая во внутрь металлической поверхности, изменяют их структурный состав, а следовательно, прочностные и антифрикционные свойства. При этом контактируемые участки покрываются достаточно устойчивыми полимерными и полиэфирными структурами, создавая эффект прочной «масляной шубы», способной исключить непосредственный контакт трущихся соединений между собой.

Нанопрепараты 4 класса (таблица 2).

Нанопрепараты этого класса модифицируют на поверхностях трения деталей машин самовосстанавливающиеся антифрикционные износостойкие как стационарные металлокерамические (при использовании РВС, ХАДО, СУПРОТЕК и других добавок), органометаллокерамические («ОМКА-добавка»), так и жидкокристаллические (например, «Реагент-2000») слои [25,26, 3].

Уникальность нанопрепаратов-добавок данного класса заключается в том, что эксплуатационный износ поверхностей трения деталей машин компенсируется образованием на поверхностях защитного слоя металлокерамики без разборки, в работающей машине, в режиме штатной эксплуатации и используются они, в основном, для обработки тяжелогруженных агрегатов машин с высокой степенью износа.

Применение этих нанопрепаратов-добавок позволяет не только восстанавливать изношенные сопряжения, но и увеличивать износостойкость поверхностей деталей и их ресурс, обеспечивать экономию ГСМ и энергоресурсов.

Ремонтно-восстановительный состав создан в ЗАО «НПО Руспромремонт» г.Санкт-Петербурга. Состав и способ запатентован И.В. Никитиным. Патент № 2135638. В настоящее время НПО Руспромремонт является ведущим производителем и поставщиком РВС-добавок как на отечественный, так и на зарубежный рынок. Состав постоянно совершенствуется, совершенствуются и РВС-технологии, расширяется сфера и область их применения практически во всех отраслях промышленности, транспорта и т.д.

Сходными по составу, технологиям и областям применения и происхождению являются препараты данного класса: ХАДО, СУПРОТЕК, ФОРСАН, ОМКА, Реагент-2000 и др..

РВС - это мелкодисперсная, многокомпонентная смесь минералов, добавок и катализаторов. РВС в смазках не растворяется, химически нейтрален, ввиду очень малой концентрации практически не изменяет вязкости смазок. Экологически безвреден как в порошке, так и в процессе его переработки. Для донесения РВС до поверхности трения может быть использован любой жидкий носитель (масло, керосин, диз. топливо, вода и т.д.). Эти же жидкие носители обеспечивают удаление с поверхностей трения и контакта продуктов износа и разложения масел в процессе приработки частиц РВС.

Попадая на поверхности трения и контакта работающих механизмов, частицы РВС модифицируются сами и модифицируют поверхности. В результате реакции замещения атомов Mg в узлах кристаллической решетки частиц РВС атомами Fe поверхностного слоя стали или чугуна, создаются новые кристаллы с гораздо более объемной кристаллической решеткой, образующей в своей массе новый металлокерамический защитный слой (МКЗС), поднимающийся над поверхностью пятен контакта и компенсирующий износ деталей. В результате роста МКЗС компенсируются увеличенные в результате износа зазоры, снижается удельное давление и выделение энергии на поверхности сопряжения, прекращается реакция замещения и дальнейший рост металлокерамического защитного слоя.

Полученный металлокерамический защитный слой:

- не имеет четкой границы между собой и металлом-носителем,
- не чужероден металлу-носителю,
- имеет одинаковый с металлом-носителем коэффициент линейного и теплового расширения, не скалывается при нагреве-охлаждении,
- имеет низкий коэффициент трения,
- температура разрушения -1575 -1600°C, стоек к коррозии,
- не вступает в реакции замещения, адсорбирует атомарный водород.

- может возобновляться по мере износа проведением дополнительной РВС-обработки.

Как уже упоминалось выше, в настоящее время производится и поступает на рынок большое количество марок нанопрепаратов ВАФПИД и каждая фирма-производитель широко и с явными преувеличениями эффективности рекламирует свою продукцию.

Эксплуатация техники в условиях сельского хозяйства имеет свою специфику, которая существенно отличается от условий эксплуатации машин и оборудования в других отраслях народного хозяйства.

В связи с этим специалистам сельхозпредприятий необходимо выдать достоверные рекомендации по выбору рациональных марок наноматериалов для проведения технического сервиса машин в сельском хозяйстве и разработать методику и технологию их применения, обеспечивающих эффективность.

На основе анализа большого количества литературных источников и результатов собственных предварительных лабораторных триботехнических исследований нанодобавок в составе моторных и трансмиссионных масел, с учетом закономерностей изнашивания деталей, нами выдвинуты теоретические предпосылки о возможности продления ресурса машин сельскохозяйственного назначения, представленные на рисунке 4 [36].

Из рисунка 4 следует, что в течение всего срока службы машин, учитывая техническое состояние агрегатов в разные периоды эксплуатации, и применяя соответствующие классы наноматериалов в эти периоды, можно существенно продлить ресурс агрегатов без их разборки. Впервые теоретическая предпосылка о необходимости и возможности разработки методики применения комбинации наноматериалов различных классов для продления ресурса дизельного двигателя и агрегата трансмиссии нами опубликована в 2006 г. [28].

Из рисунка 4 также следует, что можно сократить время эксплуатационной обкатки двигателей после капитального ремонта, а за счет сокращения механических потерь может уменьшиться удельный расход топлива и увеличиться эффективная мощность двигателя.

Для существенного сокращения времени обкатки двигателя после ремонта, продления ресурса и снижения расхода топлива в начальный период эксплуатации после обкатки, по нашему мнению, наибольшее предпочтение имеют первые три класса нанопрепаратов (таблица 2): модификаторы трения, реметализанты и кондиционеры металла, обладающие наименьшим коэффициентом трения, а также свойством (3-й класс) исключать задиры в паре трения деталей. В эти классы входят препараты Форум, Римет, ФЕНОМ, ER, WAGNER и др. Эти препараты могут снижать трение в 3 - 7 раз.

Препараты 4-го класса - RVC (PBC), БЕМИТ, СУПРОТЕК, ФОРСАН и др. обладают свойствами восстанавливать геометрию деталей в зоне износа и компенсировать увеличившиеся зазоры в паре трения в результате износа. Эти нанопрепараты также снижают трение в 3 - 5 раз. Предположительно, этот класс препаратов целесообразно применять в процессе штатной эксплуатации машин в интервале допустимых износов деталей и зазоров в ресурсных сопряжениях, как это показано на рисунке 4.

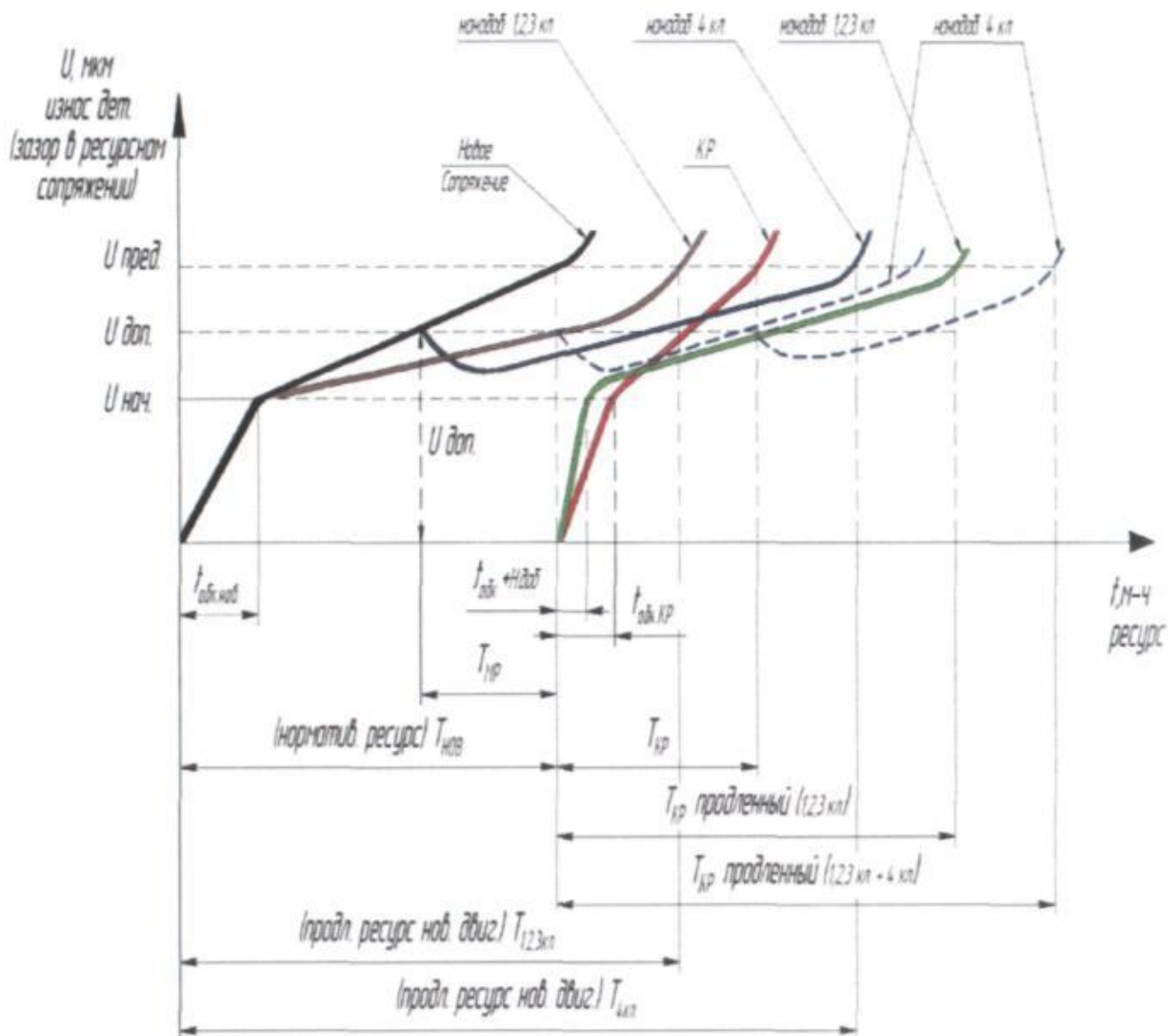


Рис. 4. Схема продления ресурса ДВС применением наноматериалов

$U_{нач}$ - начальный зазор (износ) ресурсного сопряжения;

$U_{пред}$ - предельный зазор (износ); $U_{доп}$ - допустимый зазор (износ);

$t_{обк.нов}$ - время обкатки нового двигателя;

$t_{обк.кр}$ - время обкатки двигателя при капитальном ремонте;

$t_{+Н.доб}$ - время обкатки двигателя при КР с применением нанодобавки;

T - межремонтный ресурс

Ресурсные сопряжения деталей в агрегатах трансмиссий тракторов, обработанные наноматериалами в процессе штатной эксплуатации, предположительно должны иметь аналогичные закономерности продления ресурса, как и механизмы ДВС, представленные на рисунке 4.

Таким образом, в первом и втором разделах данного учебного пособия разработаны теоретические предпосылки продления ресурса применением определенных классов наноматериалов в определенные периоды штатной эксплуатации машин без разборки (рисунок 4).

Для доказательства достоверности выдвинутых теоретических предпосылок, представленных на рисунке 4, разработаны и выполнены нижеследующие виды работ:

1. Разработаны методики проведения исследований;
2. Проведены лабораторные триботехнические исследования нанопрепаратов ВАФПИД и определены рациональные нанопрепараты для применения их в техническом сервисе сельхозтехники;
3. Проведены стендовые испытания наноматериалов на натуральных агрегатах машин и мониторинг эксплуатационной проверки эффективности нанопрепаратов;
4. Разработана технология продления послеремонтного ресурса дизельных двигателей и определен ожидаемый экономический эффект от внедрения наноматериалов в сельском хозяйстве.

3. Методики исследований и выбора рациональных наноматериалов для продления послеремонтного ресурса сельхозтехники

Нормативами надежности на отремонтированные тракторы, дизельные двигатели и трансмиссии, разработанные ГОСНИТИ [29], утвержден 80%-ный гамма-ресурс для основных марок двигателей, равный 4000-4400 моточасов, для трансмиссий - 4800 моточасов, а установленный ресурс для двигателей принят 2000 - 2200 моточасов.

Установленный послеремонтный ресурс (термин по ГОСТ 29642) - наработка, до достижения которой ни одна испытываемая машина (агрегат) не должна достигнуть предельного состояния.

Фактическое состояние ремонтно-обслуживающей базы в сельском хозяйстве в настоящее время не может обеспечить нормативные показатели послеремонтного ресурса двигателей. Поданным ГОСНИТИ и Гостехнадзора [12,13], 80%-ный гамма-ресурс двигателей не превышает 600-700 моточасов, то есть в 6 - 7 раз ниже нормативного значения и в 3 - 4 раза ниже установленного послеремонтного ресурса.

В настоящее время свыше 90% от всего объема основных сельскохозяйственных работ выполняется тракторами, прошедшими капитальный ремонт (в советское время этот объем составлял около 80%). Из этого следует, что в самое напряженное время массовых весенних полевых работ чрезвычайно важное значение приобретает безотказность работы тракторов, которые, как правило, ремонтируются в условиях неоснащенных мастерских сельхозпредприятий.

Из вышесказанного следует, что именно в весенний, то есть в начальный период эксплуатации тракторов после их ремонта, необходимо максимально сократить поток отказов, уменьшить скорость нарастания зазоров в ресурсных сопряжениях механизмов и повысить работоспособность тракторов в сезон работ.

В связи с этим основной целью разработки методики исследования является обоснование и выбор рациональных наноматериалов для продления послеремонтного ресурса двигателей и агрегатов на разных стадиях эксплуатации тракторов.

Благодаря уникальным свойствам наноматериалов и их различному влиянию на рабочие поверхности трибосопряжений, с точки зрения методологии выбора и применения их, нами условно установлены три периода штатной эксплуатации тракторов, которые четко указаны на рисунке 4 в разделе теоретических предпосылок продления ресурса машин. В каждом периоде эксплуатации машины должны применяться именно те классы и марки наноматериалов, которые по своим специфическим свойствам наиболее полно удовлетворяют требованиям изменяющихся условий работы ресурсных сопряжений.

Таким образом, предложенная нами упрощенная классификация наноматериалов ВАФПД [27], исследование и изучение триботехнических свойств нанопрепаратов, позволили для каждого периода эксплуатации машин выбрать рациональный нанопрепарат в качестве добавки к смазочным материалам [36].

Для эффективного применения наноматериалов нами предлагается условно установить следующие периоды послеремонтной штатной эксплуатации машин:

- период эксплуатационной обкатки;
- начальный послеремонтный период рядовой эксплуатации машин до достижения 40 - 60% износа ресурсных сопряжений механизмов (расходования ресурса), устанавливаемого по результатам диагностирования;
- последующий период рядовой эксплуатации тракторов после достижения 40 - 60% износа или 400 - 600 моточасов наработки.

Очевидно, что для обкатки отремонтированных двигателей и агрегатов целесообразно применять смазочные материалы, содержащие наномате-

риалы, обладающие противозадирными свойствами и обеспечивающие наименьший коэффициент трения в механизмах с целью исключения в трибосопряжениях задигов и заеданий, особенно в ресурсных сопряжениях, а также с целью сокращения времени обкатки агрегата и экономии топлива и электроэнергии.

Из рисунка 4 теоретических предпосылок продления ресурса видно, что с момента окончания эксплуатационной обкатки машины (агрегата) и до окончания начального периода эксплуатации или, условно, до наступления допустимых без ремонта зазоров в ресурсных сопряжениях, по результатам диагностирования механизмов также целесообразно применять наноматериалы первых 3-х классов, которые снижают коэффициент трения в сопряжениях деталей механизмов в 3 - 7 раз. Из рисунка 4 также следует, что при износах деталей в ресурсных сопряжениях в пределах 40 - 60% или расходования ресурса, по результатам диагностирования, целесообразно применять восстановительные наноматериалы в качестве добавок к маслам, которые обеспечивают восстановление геометрии деталей и зазоров в сопряжениях практически до номинальных значений.



Рис. 5. Отобранные наноматериалы для проведения лабораторных триботехнических исследований

На втором этапе разработки методики исследования предполагается по результатам лабораторных триботехнических исследований и стендовых испытаний натуральных агрегатов выявить рациональный наноматериал для эффективного его применения в каждом из трех периодов штатной послеремонтной эксплуатации тракторов.

Принятые и обоснованные, с нашей точки зрения, положения и предпосылки послужили основой для выбора лабораторного оборудования, испытательных производственных стендов, образцов и других приборов.

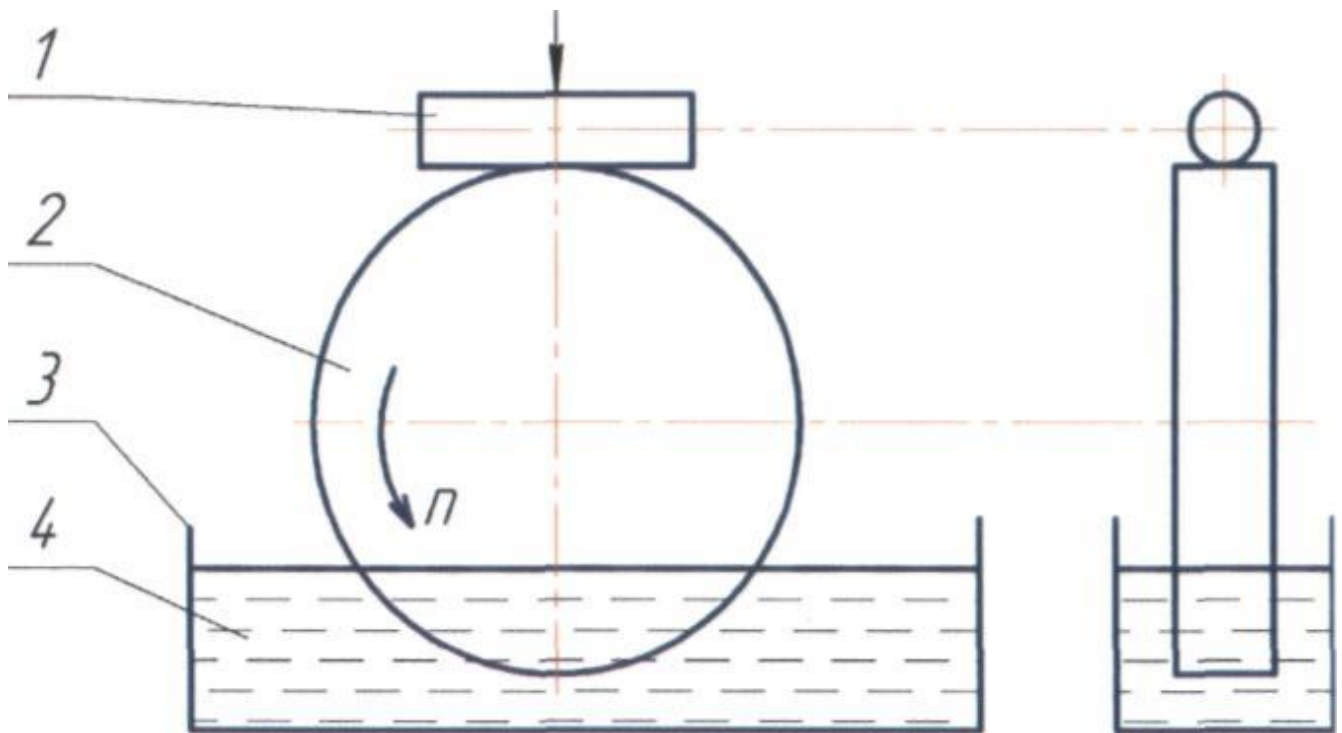
3.1. Методика выбора нанопрепарата для эксплуатационной обкатки двигателей и агрегатов машин

Основным критерием при выборе того или иного нанопрепарата для обкатки двигателя или агрегата трансмиссии трактора является гарантированное исключение образования «задиров» и заклинивания деталей в ресурсных сопряжениях. В связи с этим основным требованием, предъявляемым к экспериментальной установке, является возможность создания жестких условий для образования «задиров», заеданий и заклинивания образцов при испытании смазочных материалов, содержащих нанопрепараты. Это требование можно обеспечить путем максимальной локализации нагрузки в трибосопряжении образцов [36].

Максимальная локализация нагрузки может быть реализована благодаря применению специальной схемы расположения образцов, представленной на рисунке 6. В качестве испытуемого образца используется ролик подшипника качения, а контрообразцом является кольцо подшипника. Максимальная локализация нагрузки в трибосопряжении потребовала и максимальной твердости образцов. Поэтому в качестве образцов использованы детали подшипников качения, изготовленные из стали ШХ15 и имеющие твердость не менее 72HRC.

Вполне очевидно, что если в процессе испытания наноматериала в таких особо жестких условиях при максимальной нагрузке не произойдет «задир» и заклинивание в трибосопряжении (рисунок 6), то есть остановка электродвигателя привода контрообразца, то это будет указывать на то, что наноматериал, содержащийся в масле, будет обеспечивать, во-первых, минимальный коэффициент трения в сопряжении деталей и, во-вторых, будет обеспечивать минимальный износ образца-ролика. Именно по этим критериям, как было указано выше, будет определяться целесообразность и эффективность применения наноматериала при обкатке двигателей и агрегатов трансмиссии тракторов, а также других механизмов.

Для испытания наноматериалов на «задир» выбрано устройство фирмы «Wagner» (Германия), представленное на рисунках 7 и 8.



*Рис. 6. Схема локализации нагрузки в трибосопряжении
 1 - образец, 2 - контробразец, 3 - ванна,
 4 - масло, содержащее наноматериал*

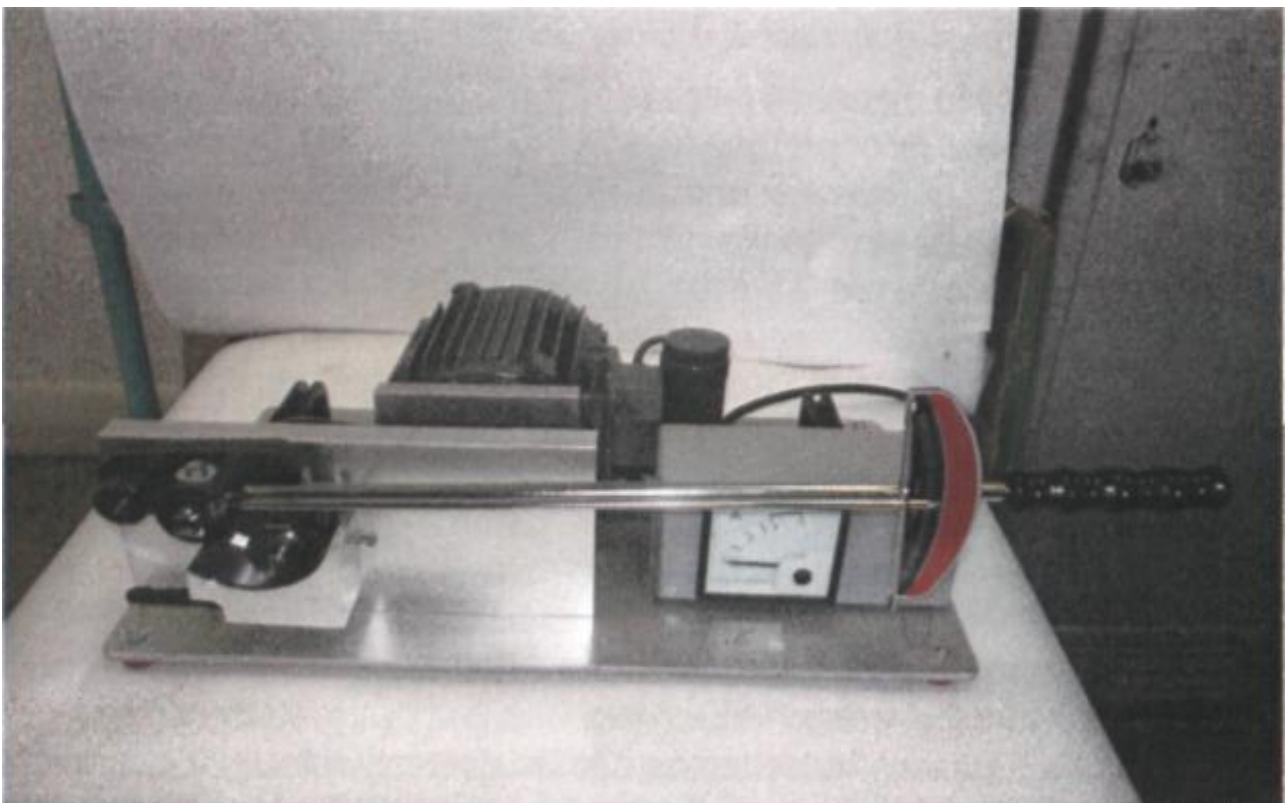


Рис. 7. Устройство «Wagner» для триботехнических испытаний наноматериалов на «задир», содержащее тарированный динамометрический рычаг и амперметр для косвенной оценки коэффициента трения в трибосопряжении по величине потребляемого тока электродвигателем привода контробразца



Рис. 8. Зажимное устройство образца-ролика, кольцо подшипника - контрообразец и съемная ванна для масла, содержащая наноматериал

Данное устройство в полной мере удовлетворяет выдвинутым требованиям, предъявляемым к определению количественной оценки свойств наноматериалов, рекомендуемых для обкатки двигателей и агрегатов.

Экспериментальная установка «Wagner» (рисунки 7 и 8) при помощи градуированного динамометрического рычага позволяет измерять и контролировать нагрузку в трибосопряжении, при которой происходит остановка электродвигателя, то есть «задир» и заклинивание, а также косвенно оценивать коэффициент трения по показанию амперметра, который показывает величину тока потребляемого электродвигателем.

Установка «Wagner» имеет следующие параметры:

- частота вращения контрообразца - $n = 820 \text{ мин}^{-1}$;
- момент нагружения при трении - 0 - 200 Нм;
- потребляемый ток электродвигателем - 0 - 10А.

Износ образца оценивается по изменению массы до и после тестирования за установленное определенное время испытания и при одинаковой нагрузке. Ролики подшипника - образцы с различной степенью износа - представлены на рисунке 9. Взвешивание образцов производится на электронных аналитических весах.

Достоверность результатов экспериментов обеспечивалась трехкратной повторностью проведения опытов.

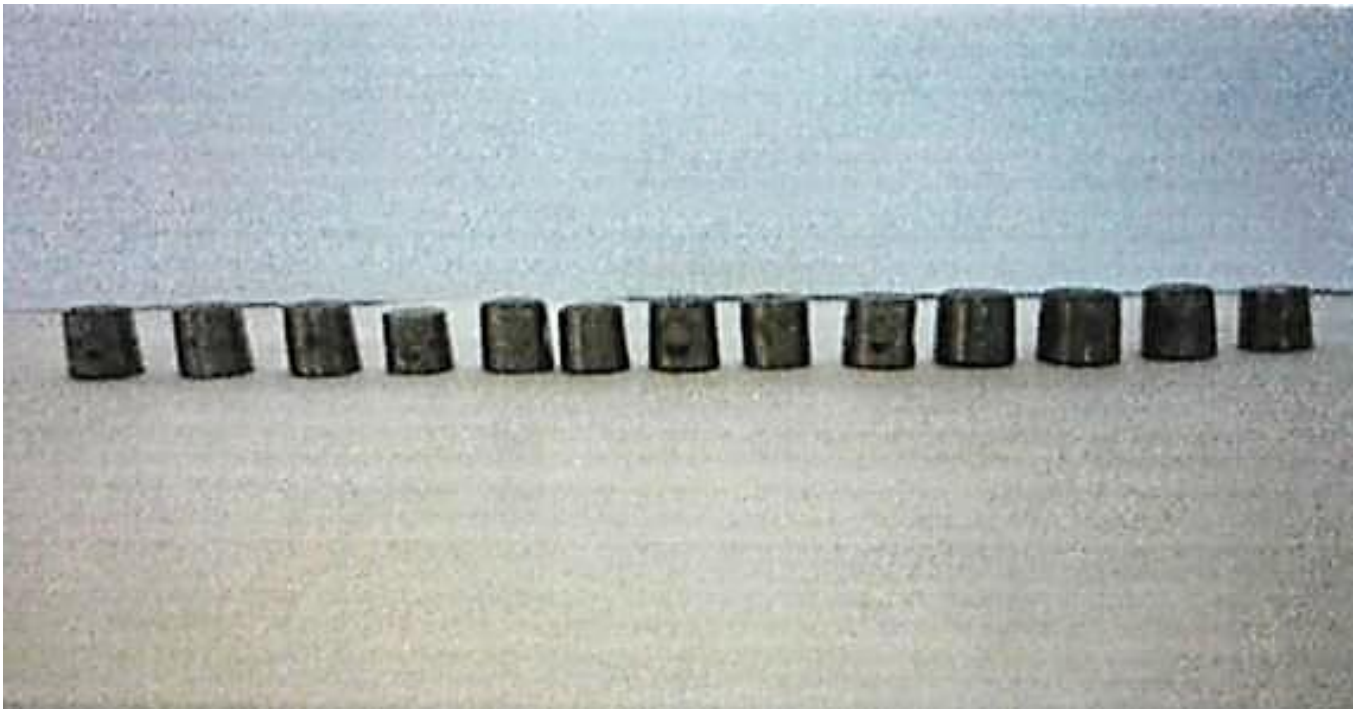


Рис. 9. Ролики подшипника - образцы с различной степенью износа

На рисунке 10 представлен современный трибометр «TBR-S-DE» Швейцарской фирмы «CSM Instruments».

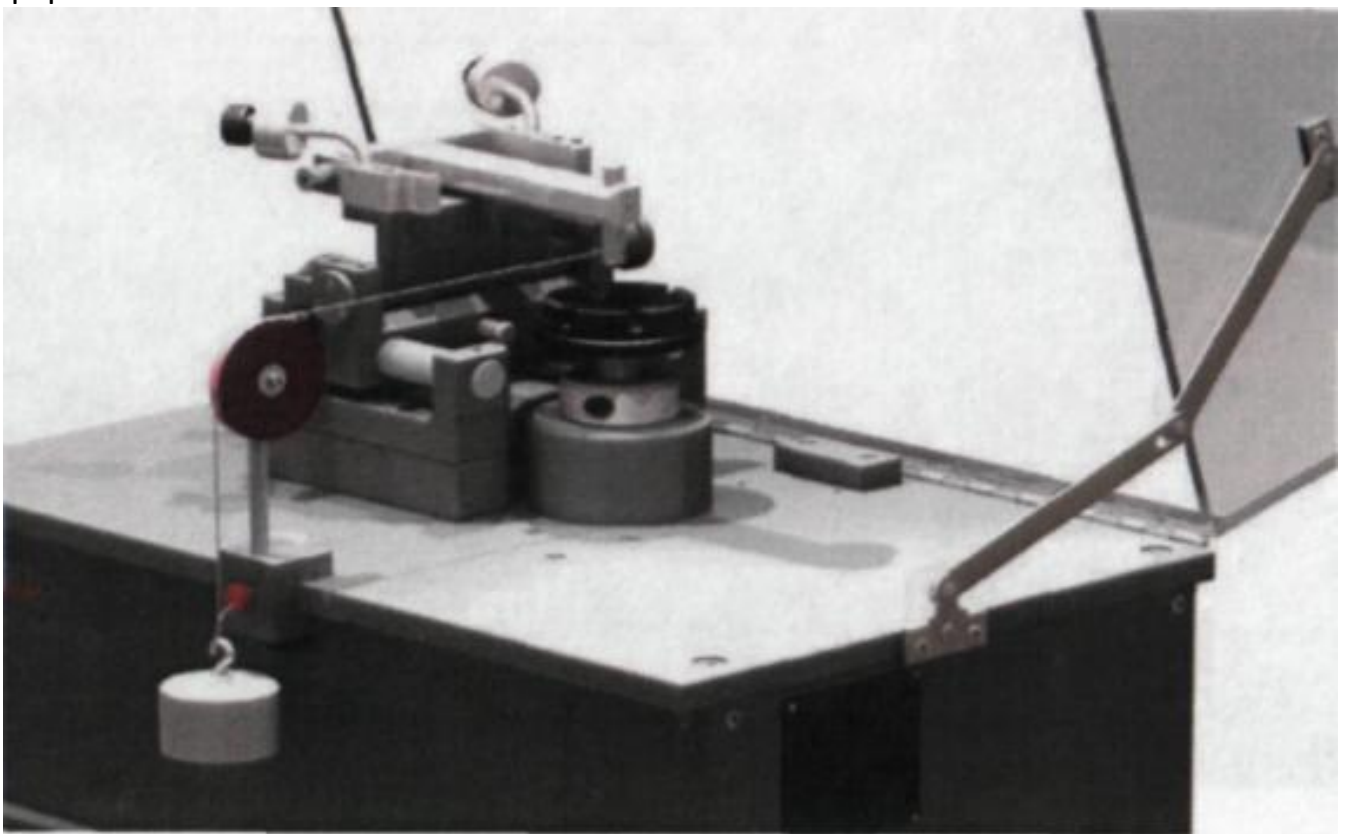


Рис. 10. Трибометр «TBR-S-DE»

Показаны условия калибровки измерителя силы трения, действующей на контробразец (палец с шариком на конце)

Прибор регистрирует коэффициент трения, силу сопротивления вращению испытуемых дисков (сила трения), а также профилограмму следа трения.

3.2. Методика выбора нанопрепарата для начального послеремонтного периода эксплуатации тракторов

Для продления ресурса агрегатов в начальный послеремонтный период штатной эксплуатации трактора после обкатки, до наступления 40 - 60% износа по результатам диагностирования, методикой выбора рационального наноматериала предусматривается проведение экспериментальных исследований по выявлению наноматериала, обеспечивающего максимальный противоизносный и антифрикционный эффекты в трибосопряжении испытываемых образцов. Наличие этих свойств в масляной композиции позволит не только продлевать ресурс механизмов, но и экономить топливо [36].

Результаты исследования поданному направлению предусматривается получить на машине трения СМЦ-2. Предполагается провести исследования по двум схемам нагружения и трения в трибосопряжениях образцов.

Машина трения СМЦ-2 представлена на рисунке 11



Рис. 11. Машина трения СМЦ-2

По первой схеме для трибосопряжения были взяты изготовленные стальные закаленные ролики из стали 40Х, диаметром 40 мм и шириной 10 мм. Твердость роликов не менее 55 HRC. Исходная шероховатость поверхностей трения $Ra = 0,16$. На рисунке 12 представлены образцы - ролики для машины трения СМЦ-2 для определения влияния масел, моторного и трансмиссионного, содержащих различные наноматериалы, на величину износа образцов. Первая схема нагружения образцов представлена на рисунке 13.



Рис. 12. Образцы для исследования влияния наноматериалов в составе масел на величину износа

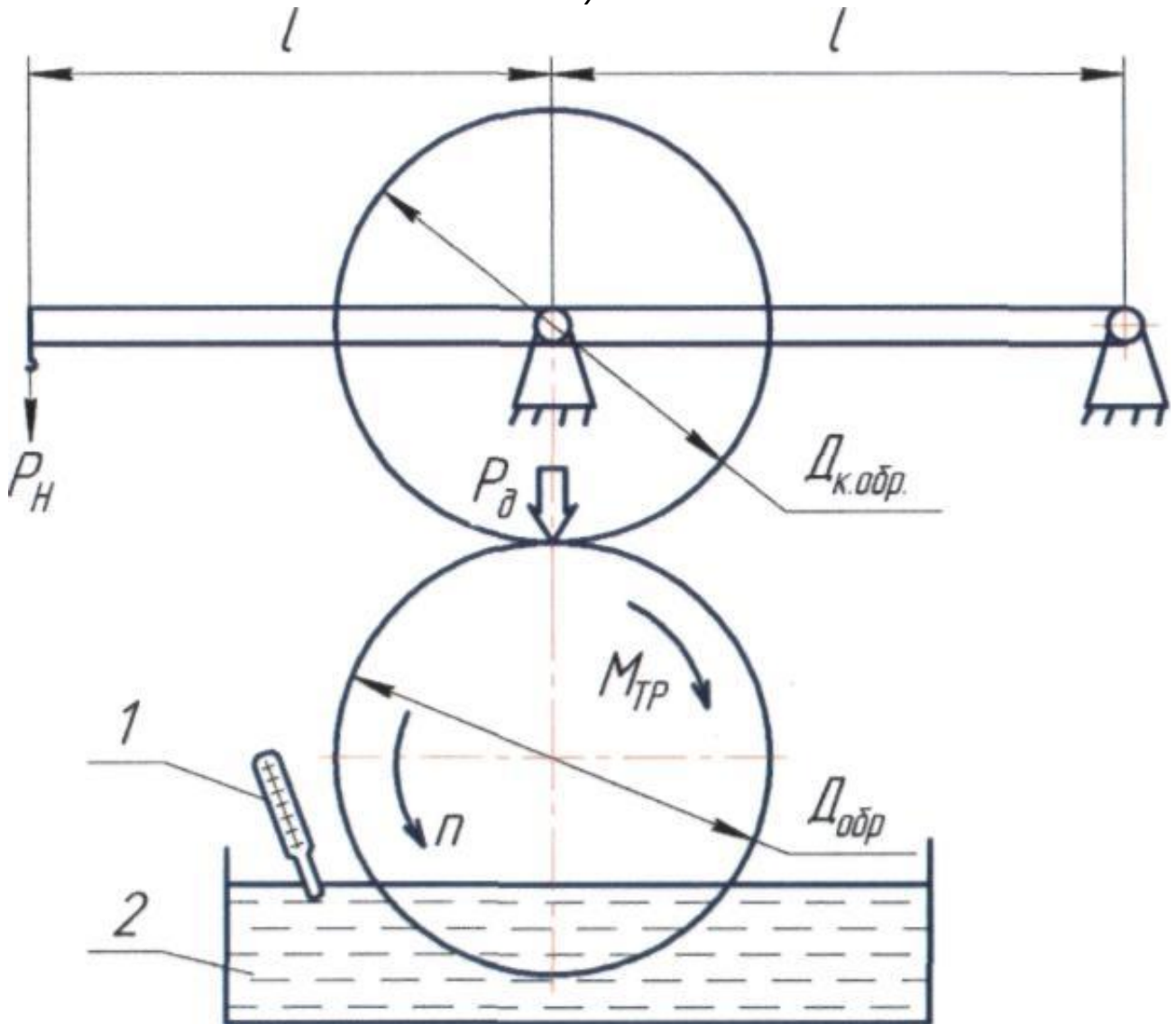


Рис. 13. Схема нагружения и смазки трибосопряжения на СМЦ-2 по определению величины износа образцов в зависимости от марки наноматериала, содержащегося в масле
 1 - термометр Ш4500 с термопарой «Х-К», 2 - ванночка с исследуемой смазкой, содержащей наноматериал, P_H - сила нагружения, Н,
 P_d - усилие давления, Н
 $D_{обр} = D_{к.обр} = 40$ мм - диаметры роликов образца и контрообразца

Величина износа образцов определялась по изменению массы образцов на аналитических весах (рисунок 10) до и после опытов за определенное время.

Вполне очевидно, что величина износа образцов будет характеризовать коэффициент трения в трибосопряжении и функционально зависит от него. Чем меньше относительный износ образцов при трении в смеси масла и нанопрепарата по сравнению с износом тех же образцов при трении в чистом масле, тем будет меньше коэффициент трения, который обеспечивает наноматериал, и тем более эффективным является препарат.

Известно, что самым малоресурсным сопряжением в ДВС является сопряжение гильза - поршневое кольцо. По литературным данным [30], ресурс колец у новых дизельных двигателей равен примерно 800 моточасов. Далее автор [30] указывает, что условия работы поршневых колец очень тяжелые, температура первого кольца доходит до 200°C, до 75% из всех потерь двигателя на трение приходится на сопряжения колец с цилиндром, до 50 - 60% тепла отводится в систему охлаждения через сопряжения колец с цилиндрами, остальное тепло отводится маслом и другими элементами. Поданным ГОСНИТИ, значительно снижается послеремонтный ресурс цилиндропоршневой группы деталей. По данным д.т.н. М.А. Халфина [13], снижение ресурса происходит из-за нередкого использования некондиционных запасных частей, некачественной сборки ремонтного комплекта и многих других причин [12, 13].

Поэтому, прежде всего, необходимо обосновать наши рекомендации по применению конкретных марок наноматериалов для ресурсных сопряжений деталей цилиндра-поршневой группы.

В связи с этим была применена вторая схема трения и нагружения в трибосопряжении, представленная на рисунке 14. По предлагаемой методике, на машине трения СМЦ-2 предполагалось максимально приблизить условия эксперимента к условиям трения поршневых колец в дизельном двигателе.

Усилие давления образца на контробразец (рисунок 14) определялось на основании реального давления газов в камере сгорания дизельного двигателя и удельного давления верхнего компрессионного кольца на «зеркало» гильзы, исходя из схемы распределения давления газов в лабиринтном уплотнении колец, представленном на рисунке 15 [30].

Давление газов на поршень P_z (рисунок 15) для дизельных двигателей $P_z = 8 - 10$ МПа, для ДВС с турбонаддувом $P_z = 10 - 12$ МПа [30]

Среднее давление газов, прижимающих верхнее компрессионное кольцо к стенке гильзы, согласно схеме (рисунок 15) принято равным 8 МПа, или удельное давление равно 800 Н/см^2 .

Исследования проводились по схеме «вращающийся чугунный ролик-неподвижная чугунная колодка», изготовленные из чугуна и поршневого маслоъемного кольца. Площадь контакта в сопряжении «ролик-колодка» - $0,3 \text{ см}^2$.

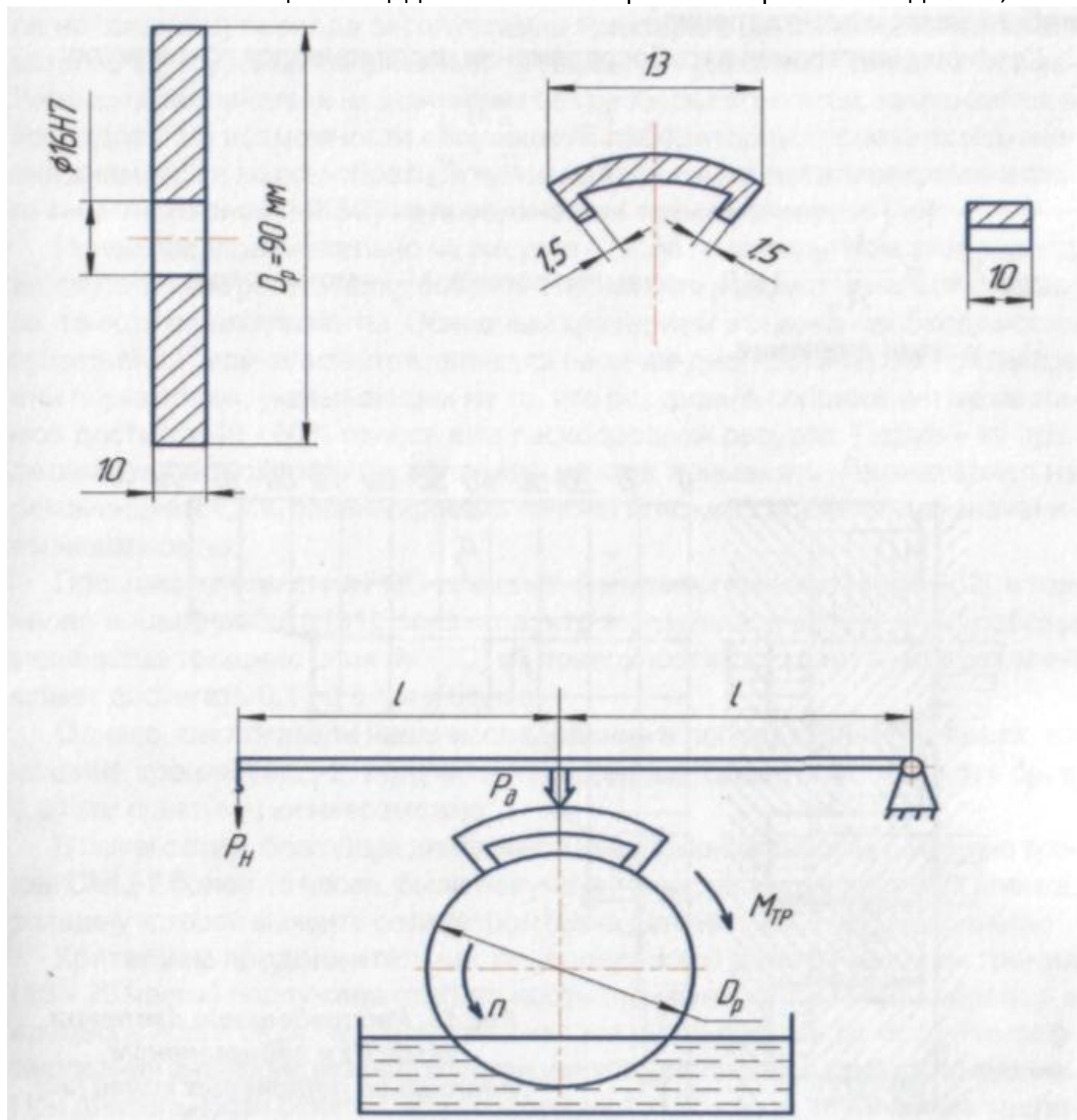


Рис. 14. Схема нагружения и смазки трибосопряжении на СМЦ-2 по определению коэффициента трения в зависимости от марки наноматериала, содержащегося в масле P_H - сила нагружения, Н, P_d - усилие давления, Н, $P_d = 2 * P_H$ M_{TP} - момент трения скольжения, Н*см, n - частота вращения ролика, мин^{-1} , 1 - ванна, 2 - масло, содержащее наноматериал

Относительная скорость скольжения пар трения при частоте вращения ролика $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ и диаметре 90 мм составляла 1,4 м/с.

Нагрузка $P_n = 120 \text{ Н}$ (рисунок 14) соответствовала максимальному давлению газов. Перед проведением эксперимента пары прирабатывались до стабилизации момента трения.

Коэффициент трения в трибосопряжении рассчитывался по формуле:

$$f = \frac{F_{\text{тр}}}{P_d} = \frac{2M_{\text{тр}}}{D_p \cdot P_d};$$

где $f = \frac{2M_{\text{тр}}}{D_p \cdot P_d}$, Н; D_p – диаметр ролика; $M_{\text{тр}}$ – момент трения;

P_d –усилие давления.

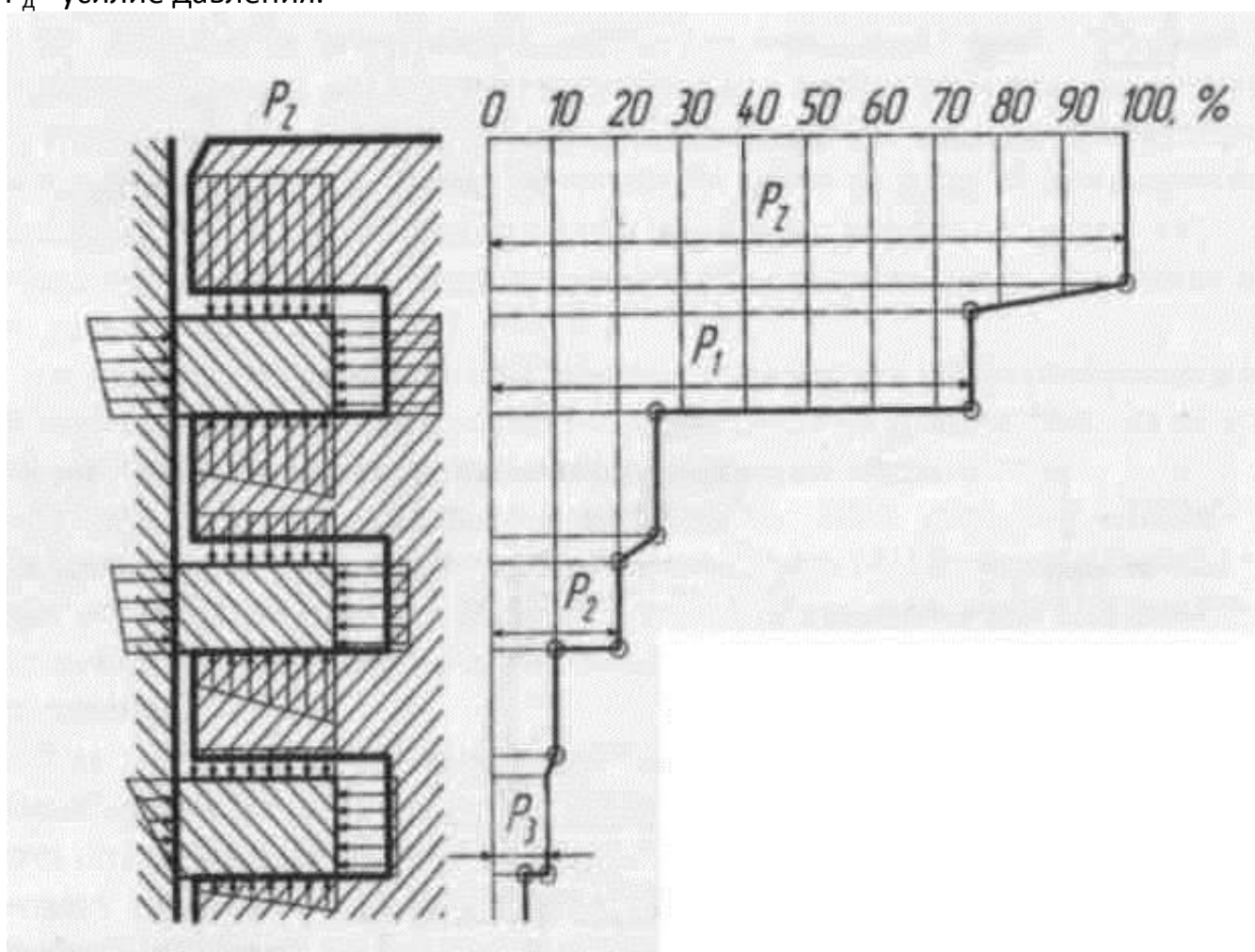


Рис.15. Распределение давления газов P_z в лабиринтном уплотнении поршневых колец [30]

Наноматериалы, обладающие наилучшими показателями по коэффициенту трения и величине износа, по результатам лабораторных триботехнических испытаний, будут использоваться на стендовых испытаниях натуральных образцов ДВС и агрегатов трансмиссионных тракторов.

3.3. Методика выбора нанопрепарата для последующего послеремонтного периода эксплуатации тракторов

Методика обоснования и выбора наноматериала для последующего (после начального) периода эксплуатации трактора с целью восстановления зазоров в ресурсных сопряжениях и геометрии деталей, близких к нормативным первоначальным значениям без разборки агрегатов, заключается в исследовании возможности получения в лабораторных условиях изменения диаметра и массы образцов путем наращивания металлокерамическо-го защитного слоя (МКЗС) на поверхностях трения образцов [36]. Ранее предположительно на рисунке 4 было показано, что в этот период эксплуатации агрегата целесообразно применять наноматериалы 4-го класса, то есть ревитализанты. Основным критерием в оценке необходимости применения ревитализантов является наличие диагностических признаков или параметров, указывающих на то, что ресурсные сопряжения механизмов достигли 40 - 60% износа или расходования ресурса. Позже - за пределами указанной границы величины износа, применять наноматериал не рекомендуется, т.к. реанимировать износы близкие к предельным значениям невозможно.

Практика применения РВС-технологий многими организациями [32], в том числе и наша работа [31], показала, что в результате длительной работы механизма толщина слоя (МКЗС) на поверхностях в узлах трения деталей может достигать 0,1 - 0,3 мм и более.

Однако, как показали наши исследования в лабораторных условиях, на машине трения СМЦ-2, получить наращенный слой толщиной хотя бы в 0,01 мм практически невозможно.

В связи с этим, благодаря длительной непрерывной работе на машине трения СМЦ-2 более 15 часов, была получена только антифрикционная пленка, толщину которой выявить оптиметром (цена деления 0,001 мм) не удалось.

Критерием продолжительности непрерывной работы машины трения (15 - 20 часов) послужила стабильность (неизменность) массы образца в процессе испытания, которая из-за износа уменьшалась до момента формирования антифрикционной восстановительной пленки в трибосопряжении. При длительности обкатки, превышающей 15 - 20 часов, отмечалось увеличение массы образца до 0,001 г.

Из различных источников [33] известно, что по своей природе МКЗС является диэлектриком, поэтому доказательством факта образования антифрикционной пленки послужила методика замера электросопротивления этой пленки на поверхности трения образца.

Электросопротивление пленки на образце замерялось прибором Ф4313, представленном на рисунке 16. Методика измерения электросопротивления пленки на поршневом кольце, после длительной эксплуатации дизельного двигателя и его разборки, представлена на рисунке 17 [36].

На основании результатов ранее проведенных предварительных исследований и данных наших длительных наблюдений за эксплуатацией обработанных наноматериалами агрегатов машин и оборудования было выявлено, что наиболее эффективной нанодобавкой, с точки зрения компенсации зазоров в ресурсных сопряжениях, является препарат «RVS» производства НПО «Руспромремонт» или «RVS-мастер» производства Финляндии.

В связи с этим лабораторные исследования и мониторинг эксплуатационных испытаний по продлению ресурса в последующий (третий) период эксплуатации (рисунок 4) двигателей и трансмиссий в основном проводились с применением препарата «RVS».

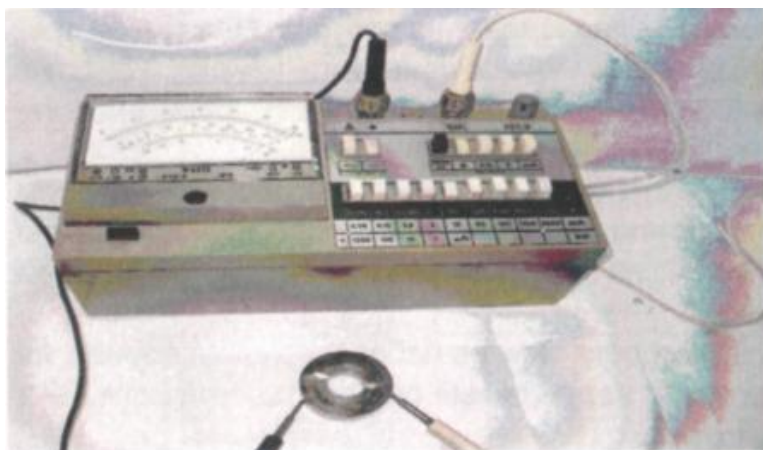


Рис. 16. Методика замера электросопротивления антифрикционной пленки (МКЗС) на образце



Рис. 17. Методика замера электросопротивления антифрикционной пленки, образовавшейся на поршневом кольце

4. Методика проверки эффективности наноматериала «Wagner» при помощи стендовых испытаний дизельного двигателя Д-240

Целью стендовой проверки эффективности наноматериала на дизельном двигателе является подтверждение результатов триботехнических исследований, а также теоретических предпосылок о возможности продления ресурса двигателей и экономии дизельного топлива за счет сокращения механических потерь.

Испытание двигателя Д-240 трактора МТЗ как наиболее распространенного в сельском хозяйстве, проводилось на стенде КИ-5543 ГОСНИТИ по методике кафедры «Тракторы и автомобили» ЧГАУ и с учетом требований ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний». Испытуемый двигатель представлен на рисунке 18, а стенд КИ-5543 - на рисунке 19. С помощью приборов фиксировался часовой расход топлива, частота вращения коленчатого вала, температура воды в системе охлаждения, температура и давление масла и другие параметры [37].



Рис. 18. Двигатель Д-240, установленный на стенде КИ-5543

В качестве наноматериала был использован наноматериал Eco-Universal Oil Package фирмы «Wagner» (Германия), который был выявлен при проведении лабораторных триботехнических экспериментов как препарат, обладающий наименьшим коэффициентом трения в трибосопряжениях и наиболее эффективный по уменьшению величины износа образцов пары трения при испытании как на машине трения СМЦ-2, так и на устройстве по тестированию наноматериалов на задир. Этот препарат исключает образование

задира на образцах при нагрузках многократно превышающих нагрузку, при которой происходит заклинивание образцов на маслах без добавления препарата.



*Рис. 19. Стенд
КИ-5543 ГОСНИТИ
для испытания
дизельных
двигателей*

Концентрация препарата в моторном масле М10Г2 составляла 5 - 6% по массе в литрах. После заливки препарата в картер в течение 40 минут двигатель работал при 1000 мин^{-1} с целью обработки всех трущихся поверхностей деталей нанопрепаратом.

Согласно установленной методике по определению механических потерь на трение, которые определяются при снятии характеристики холостого хода двигателя, на первом этапе определялись механические потери в кВт при прокрутке коленчатого вала на оборотах 1000, 1100, 1200, 1300 и 1430 мин^{-1} , а на втором этапе производились замеры часового расхода топлива при изменении оборотов от 1200 до 2337 мин^{-1} , с интервалом изменения оборотов равным 200 мин^{-1} . Полученные результаты экспериментов до применения нанопрепарата и после применения обрабатывались по компьютерной программе, разработанной на кафедре «Тракторы и автомобили». В результате обработки экспериментальных данных были выявлены и определены закономерности изменения механических потерь (кВт), часового расхода топлива - G_t (кг/ч), цикловой подачи топлива $g_{ц}$ (мг/цикл), удельного индикаторного расхода топлива - g_i (г/кВт-ч) и индикаторного КПД - η_i от

изменения числа оборотов коленчатого вала. Результаты экспериментов, полученные закономерности и их обсуждение рассмотрены в следующем разделе данного учебного пособия.

5. Методика проверки эффективности наноматериалов «Wagner» при помощи стендовых испытаний коробки передач трактора Т-170 и трансмиссии трактора РТ-М-160 производства ОАО «НПК Уралвагонзавод»

Целью испытания является подтверждение результатов лабораторных триботехнических исследований по влиянию наноматериалов в составе трансмиссионного масла на снижение коэффициента трения и износ деталей в механизмах трансмиссии тракторов.

Лабораторные исследования выявили, что составы с добавками фирмы «Wagner» в масло обладают наименьшим коэффициентом трения и исключают образование «зазора» в трибосопряжении образцов по сравнению с чистым трансмиссионным маслом и составами с другими добавками.

В связи с этим было принято решение проверить эффективность нанопрепаратов «Wagner» на стенде по обкатке коробки передач трактора Т-170 в производственных условиях в ОАО «Челябинский завод тракторных трансмиссий» (ЧЗТТ) [38].

Для испытания коробки передач была взята случайная коробка из ряда коробок, ожидающих обкатки, представленных на рисунке 20.

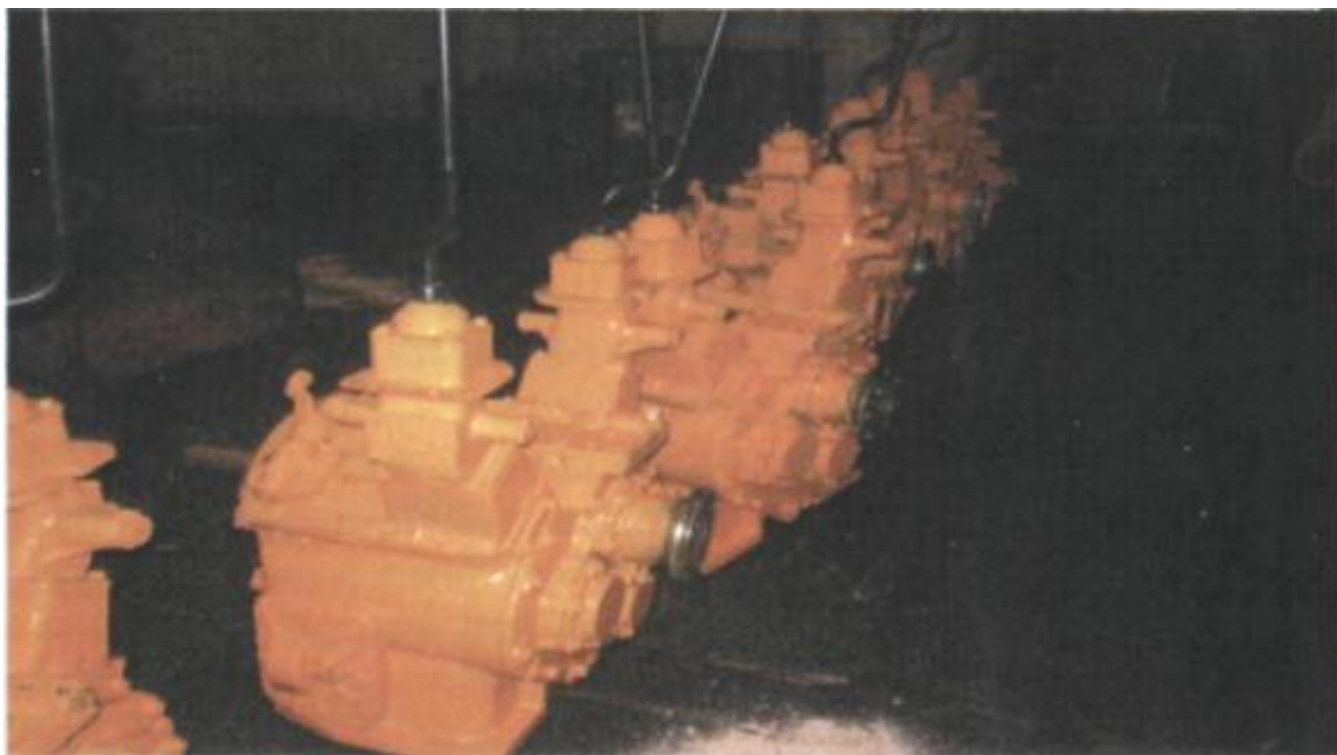


Рис. 20. Собранные коробки передач в цехе завода тракторных трансмиссий перед обкаткой на стендах

Установленная коробка передач на стенде собственной конструкции (ЧТЗ) показана на рисунке 21.



Рис. 21. Установленная на стенде коробка передач и прибор К-50 для измерения потребляемой мощности электродвигателем привода коробки

При обкатке коробки передач замерялась потребляемая мощность электродвигателем привода коробки при помощи прибора К-50. Ваттметр прибора К-50 имеет повышенную точность 0,5 класса. Потребляемая мощность до заливки нанопрепарата в картер коробки и после заливки замерялась на всех передачах - восемь передач «вперед» и четыре передачи «назад». Концентрация препарата Eco-Universal Oil Package фирмы «Wagner» в трансмиссионном масле картера коробки передач составляла 5 - 6% по массе в литрах.

После заливки препарата в картер в течение 3 - 4 минут на каждой передаче производилась предварительная обработка поверхностей трения деталей коробки и только после этого производились замеры потребляемой мощности на привод коробки.

По нашему заданию эффективность нанопрепарата Universal Micro Ceramic Oil фирмы «Wagner» была проверена при обкатке трансмиссии трактора РТ-М-160 «НПК Уралвагонзавод».

Выводы по разделам 3, 4 и 5

Разработанные и предложенные методики лабораторных триботехнических исследований и стендовых испытаний натуральных агрегатов могут обеспечить получение достоверных экспериментальных результатов, которые после эксплуатационной проверки позволят решить поставленные задачи, решить поставленные задачи по применению наноматериалов в техническом сервисе с целью продления послеремонтного ресурса и экономии дизельного топлива в процессе эксплуатации МТП.

6. Результаты исследований и их обсуждение

6.1. Лабораторные триботехнические исследования и рекомендации по выбору наноматериалов для продления ресурса машин

6.1.1. Рекомендации по выбору наноматериалов для послеремонтной эксплуатационной обкатки сельхозтехники

В результате предварительных триботехнических испытаний 18 марок наноматериалов, представленных на рисунке 5, с помощью устройства фирмы «Wagner» (рисунки 7, 8,9) на «задир», семь марок нанопрепаратов из-за относительно пониженных показателей были отсеяны от дальнейших экспериментов. Это препараты: ОРМЕКС, Автокомфорт, VICCO, ОМКА, ФОРУМ для подшипников и РЕАГЕНТ для трансмиссий.

Концентрация нанопрепаратов в составах была принята на основании рекомендаций фирм разработчиков-поставщиков этих продуктов.

Результаты триботехнических испытаний нанопрепаратов на «задир» и износ образцов, проведенных по разработанной методике на устройстве

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ УСТРОЙСТВА ФИРМЫ «WAGNER»

№ п/п	Марка наноматериала	Показатели ¹	
		Максимальная нагрузка в трибосопряжении, при которой происходит заклинивание (задир)и остановка электродвигателя. Нм	Относительный износ образца в смеси моторного масла и наноматериала по сравнению с износом в чистом моторном масле
	Чистое моторное масло	37	1,00
1	Супротек люкс	45	0,95
2	ФОРУМ	45	0,87
3	АРВО	45	0,93
4	Бемит (2%)	53	0,78
5	РВД	55	0,76
6	ФОРСАН универсальный	55	0,65
7	RVS	57	0,72
8	РЕАГЕНТ-2000	58	0,70
9	СУПРОТЕК-универсальный	60	0,70
10	БЕМИТ+Oil Package фирмы «Wagner»	90	0,16
11	Universal-Micro-Ceramic Oil фирмы «Wagner»	Свыше 160 (задира нет)	0,09
12	Eco Universal Oil-Package фирмы «Wagner»	Свыше 160 (задира нет)	0,04

¹ В таблице приведены усредненные показатели по результатам трехкратной повторности опытов.

фирмы «Wagner» представлены в таблице 3. Дополнительно был испытан состав, состоящий из композиции БЕМИТА и препарата Eco-Universal Oil Package фирмы «Wagner» [36].

Из таблицы 3 следует, что только два нанопрепарата из 18 могут гарантированно исключать образование задиров и заклинивания в трибосопряжении образцов. Это препараты фирмы «Wagner». Эти же препараты обладают уникальной износостойкостью. Величина износа образцов на порядок ниже по сравнению с другими наноматериалами в составе моторного масла.

Большой интерес представляет композиция наноматериалов и в частности композиция БЕМИТА и Oil Package, обладающая высокой устойчивостью против «задира». Однако это направление требует самостоятельного исследования.

На наш запрос разработчику препаратов фирмы «Wagner» по поводу механизма действия препаратов и объяснения уникальных свойств, Вальтер Вагнер, не раскрывая секрета своих патентов, дал нам ответы, которые приводятся ниже без корректировки:

- по наноматериалу «Eco-Universal Oil Package» - *«Поверхностно-активные вещества (компоненты присадки Eco-Universal) вступают в химическое соединение с молекулами на металлических поверхностях и образуют микроскопически тонкий реакционный слой (защитный экран), который препятствует свариванию трущихся металлических деталей. Следствием чего является непрерывное и достаточно обширное выравнивание поверхностей. Это выравнивание ведет к появлению исключительной, ранее недостижимой аварийной антизадирной способности и к сокращению износа»...* и далее... *«Используя присадку Eco Universal Oil Package можно сократить процесс обкатки примерно на 80-90%».*

- по наноматериалу Universal-Micro Ceramic Oil - *«Micro-Ceramic воздействует на двигатель или редуктор, не вызывая нарушения технических допусков, а благодаря адгезии с металлом происходит ее проникновение в металлические поверхности и уплотнение керамических частиц в местах шероховатостей, что создает эффект наплавки брони и образует очень прочную защитную пленку на металлических поверхностях. Из-за высокой термической стойкости и благодаря химическим свойствам Micro-Ceramic, исключается возможность возникновения отложений, наростов и сгустков и, вместе с этим, негативное воздействие на агрегаты, а также резинотехнические уплотнители, вступающие в контакт с микрокерамикой. Содержание микрокерамических частиц в продукте таково, что при добавлении 8-10% Micro-Ceramic от общего объема масла к стандартным маслам частицы не только проникают в металлические поверхности, но и постоянно плавают в масле, действуя как ма-*

пенькие шарики в шарикоподшипнике. Таким образом, мы получаем идеальные свойства скольжения, поскольку происходит движение не металла по металлу а керамики по керамике (эффект смягчения), следствием чего является мягкий ход и уменьшение шума».

Другие наноматериалы (таблица 3), хотя и имеют несколько лучшие триботехнические показатели в сравнении с чистым моторным маслом, но видимо, к методике на устройстве «Wagner», основанной на максимальной локализации нагрузки и скоротечности процесса (менее 1 минуты до образования задира) эти препараты не адаптированы. Причем показатели этих нанопрепаратов, как видно из таблицы 3, существенно не отличаются друг от друга. И это вполне объяснимо, т.к. механизмы воздействия этих препаратов на трущиеся металлические поверхности деталей совершенно другие, в отличие от препаратов «Wagner», и мало отличаются друг от друга. Эта группа препаратов рассчитана на длительное воздействие на процессы модифицирования поверхностей трибосопряжения деталей. Большая продолжительность процесса повышения износостойкости связана с образованием металлокерамического защитного слоя (МКЗС). Обоснованной теории процессов, объясняющих эффект снижения коэффициента трения и повышения износостойкости трущихся деталей, пока не существует. Однако известны несколько гипотез, объясняющих положительное влияние на процессы трения различных видов слоистых силикатов, таких например, как серпентин, шунгит, гиперстен, офит, нефрит и десятки других минералов. Каждая фирма-разработчик наноматериалов RVS, СУПРОТЕК, ФОРСАН, РЕАГЕНТ-2000 и др., используя в своих препаратах различные виды минералов и их комбинации, выдвигают свои гипотезы образования МКЗС [3, 32, 33]. Для примера можно привести лишь одну гипотезу, выдвинутую одним из первых изобретателей RVS И.В. Никитиным в своем патенте № 2135638 от 16.05.2004 г. (приоритет от 26.11.1998 г.), опубликованном в бюллетене №21 за 2004 г. [32].

«Способ образования защитного покрытия, избирательно компенсирующего износ поверхностей трения и контакта деталей машин из оплоте на основе железа включает изготовление ремонтно-восстановительного состава, содержащего 50-80 мас. % офита, 10-40 мас. % нефрита и 1-10 мас.% шунгита, путем измельчения компонентов до размера частиц 5-10 мкм и их перемешивания, введение состава в смазку, подачу состава и смазки на поверхность трения, приработку состава в течение 0,5-1,5 ч и формирование защитного покрытия в процессе эксплуатации деталей. При изготовлении состава возможно дополнительное введение в него до 10 мас.% катализатора. Техническим результатом изобретения является образование на обрабатываемых деталях метал-

локерамического покрытия, получаемого при прохождении реакций замещения атомов магния в узлах кристаллических решеток ремонтно-восстановительного состава на атомы железа» [32].

Из вышеприведенных данных следует, что для периода послеремонтной обкатки двигателей и агрегатов трансмиссий однозначно целесообразно использовать нанопрепараты фирмы «Wagner» [36].

В разделе 3 «Методика исследования» приведено обоснование выбора наноматериала для проведения послеремонтной эксплуатационной обкатки агрегатов.

На основании наших результатов триботехнических испытаний наноматериалов (таблица 3), результатов внедрения и рекомендаций В.Вагнера можно утверждать, что продолжительность эксплуатационной обкатки как для машин после капитального ремонта, так и для новой сельхозтехники, может быть сокращена не менее чем на 50 - 80%, то есть вместо 30 - 60 моточасов, для разных марок сельхозтехники, работы на пониженных нагрузках, скоростях, мощности двигателя уже через 10-20 часов можно загружать двигатель и все другие агрегаты машины на 100%, применяя новую технологию продления ресурса машин.

На практике, в условиях рядовой эксплуатации тракторов и комбайнов в сельхозпредприятиях (СХП), как правило, с первых часов работы машины загружаются на 100% и практически нарушаются инструкции по эксплуатации машин заводов-поставщиков в части обкатки машин. В основном выдерживаются только требования инструкций по замене масла и промывке картеров, а также по регулировке механизмов после завершения периода обкатки. Сложившаяся практика ввода машин в режим штатной эксплуатации и негативный «человеческий фактор», имеющий место в СХП, еще в большей степени подтверждают и регламентируют применение наноматериалов в период эксплуатационной обкатки.

Однако ведущие дилерские предприятия без указания и внесения изменений в инструкции заводов-изготовителей новой техники и ремонтных заводов для отремонтированной и модернизированной техники, не могут самостоятельно принять решение о применении наноматериалов, сокращающих период обкатки, в том числе и препарат «Wagner», несмотря на то, что дилеры могли бы существенно сократить свои затраты на устранение последствий отказов в гарантийный период. В результате обсуждения данных триботехнических испытаний наноматериалов можно сделать следующие выводы:

1. Для сельхозтехники после капитального ремонта и модернизации, выполненных в условиях ремонтно-обслуживающих предприятий (РОП) и в ЦРМ СХП, необходимо эксплуатационную обкатку проводить с обязательным применением нанопрепаратов фирмы «Wagner».

3. Для применения препаратов фирмы «Wagner» для эксплуатационной обкатки новой сельхозтехники требуется заключение МИС и изменение инструкций по эксплуатации заводов-изготовителей машин.

4. Можно считать доказанной предпосылку о возможности сокращения периода эксплуатационной обкатки агрегатов машины (рисунок 4) применением наноматериала в составе смазочного материала.

6.1.2. Рекомендации по выбору наноматериала для продления ресурса и экономии дизельного топлива в начальный послеремонтный период штатной эксплуатации сельхозтехники

Ранее была выдвинута предпосылка, что начальный послеремонтный период штатной эксплуатации тракторов до достижения 40 - 60% износа ресурсных сопряжений при помощи применения наноматериалов может быть продлен в два и более раз [36].

Для решения поставленной задачи по разработанной методике (рисунки 11,12,13) были проведены триботехнические исследования на машине трения СМЦ-2 по выявлению закономерностей влияния наноматериалов в составе моторного масла на величину износа образцов.

Данные опыты проводились по первой схеме нагружения и смазки трибосопряжения на СМЦ-2, представленной на рисунке 13 в разделе методика исследования. Порядок проведения опытов был принят следующий.

При проведении экспериментов принята минимальная, недостаточная длительность испытания образцов, равная 4 часам. Величина нагрузки принята равной 600 Н. не допускающая возможности схватывания образцов. Число оборотов - 500 об/мин.

Относительная скорость скольжения поверхностей трения, при частоте вращения ролика $n = 500$ об/мин и диаметре роликов $D = 40$ мм составляет 1,04 м/с.

Как уже отмечалось выше, для начального послеремонтного периода для продления ресурса машин были отобраны из таблицы 3 наиболее эффективные и распространенные препараты.

Исследовались нанопрепараты ВАФПИД: РВС, Реагент-2000. СУПРО-ТЕК, ФОРСАН, Микрокерамика фирмы «Wagner» и Oil-Package фирмы «Wagner».

Методикой предусматривался следующий порядок исследований: -усилие нагружения ступенчатое: $P_n = 200 - 600$ Н, что дает усилие давления в зоне трения 400 - 1200 Н. Усилия давления $P_d = 400$ Н - приработочные, усилие давления $P_d = 1200$ Н - контрольное. Время приработки пар - 20 минут.

- Исследуется моторное масло без добавок ВАФПВД;
- исследуются смеси масел с нанопрепаратами ВАФПВД. Концентрация препаратов готовилась в соответствии с инструкциями организаций-производителей;
- при исследованиях через каждые 30 минут фиксировалось изменение температуры;
- до и после окончания опыта производилось взвешивание образцов на лабораторных электронных весах E-410 (рисунок 10).

Результаты исследования противоизносных свойств шести наименований нанопрепаратов ВАФПВД, по сравнению с чистым моторным маслом, представлены на диаграмме (рисунок 22). На диаграмме показаны усредненные



Рис. 22. Диаграмма изменения суммарного износа в процентах образца и контробразца при трении в масле с наноматериалами 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 22 следует, что все препараты, предназначенные для увеличения ресурса двигателей, на машине трения проявили снижение износа образцов по сравнению с износом тех же образцов на чистом моторном масле, в 2 раза и более, особенно препараты фирмы «Wagner».

Препарат Oil Package фирмы «Wagner» уменьшил суммарный износ образцов более чем в 6 раз. Хороший результат по уменьшению износа показал препарат RVS - 31%, т.е. износ образцов, по сравнению с износом в чистом моторном масле, уменьшился более чем в 3 раза.

Можно с уверенностью утверждать, что все препараты дают существенный положительный эффект по снижению износа образцов, а следовательно, и по замедлению скорости изнашивания деталей ресурсных сопряжений.

Необходимо отметить, что температура в зоне трения образцов не превышала 140°C, а температура состава с препаратами фирмы «Wagner» была ниже на 10 -15°C, по сравнению со всеми препаратами, включая и результат испытания на чистом моторном масле.

Результаты данных исследований были опубликованы нами в журнале «Машинно-технологическая станция» № 1 за 2007 г. [34].

Полученные результаты лабораторных исследований по уменьшению интенсивности изнашивания стальных закаленных образцов при помощи нанопрепаратов ВАФПД являются лишь косвенным подтверждением увеличения долговечности ресурсных сопряжений. В реальных двигателях из-за существенных отличий условий трения показатели износа деталей могут быть другими.

Подобные закономерности по износу образцов были получены и при испытании трансмиссионных нанопрепаратов в составе трансмиссионного масла [28].

Однако с достаточно большой вероятностью можно утверждать, что препараты фирмы «Wagner» и RVS успешно могут применяться и рекомендуются нами не только для двигателей и агрегатов трансмиссий, прошедших капитальный ремонт, но и для новых машин.

Таким образом, можно считать, что ранее выдвинутые предпосылки по продлению ресурса агрегатов машин (см. рисунок 4) экспериментально триботехническими исследованиями подтверждены.

Для подтверждения достоверности результатов экспериментов необходимо дополнительно провести стендовые испытания и провести мониторинг эксплуатационных проверок натуральных двигателей и агрегатов трансмиссий.

Продолжая обсуждение проблемы продления послеремонтного ресурса дизельных двигателей в начальный период эксплуатации, необходимо рассмотреть вопрос экономии дизельного топлива при помощи наноматериалов в составе моторного масла.

Ранее было известно и упомянуто нами, что расход дизельного топлива двигателем существенно зависит от механических потерь в сопряжениях механизмов, которые определяются коэффициентом трения в трибосопряжениях. В связи с этим необходимо было, наряду с повышением износостойко-

сти ресурсных деталей, одновременно выявить и закономерности изменения коэффициента трения при воздействии наноматериалов на процессы трения.

Известно, что свыше 75% потерь мощности двигателя приходится на механические потери при трении поршневых колец в сопряжении с «зеркалом» гильз цилиндров [30]. В связи с этим, прежде всего, необходимо выявить закономерность изменения коэффициента трения в данном сопряжении ресурсных деталей цилиндро-поршневой группы при воздействии наноматериалов.

С этой целью на машине трения СМЦ-2 были проведены длительные испытания образцов по второй схеме нагружения и трения в трибосопряжении, представленной на рисунке 14, с учетом усилия давления газов в камере сгорания и удельного давления верхнего компрессионного кольца на «зеркало» гильзы. Схема давления и распределения газов в лабиринтном уплотнении поршневых колец представлена на рисунке 15.

Закономерность изменения коэффициента трения в трибосопряжении от времени испытания будет определяться продолжительностью этапа перестройки поверхности, которая зависит от материалов, смазки, температуры и давления на контактных поверхностях пар трения. Так, поданным НПО «Руспромремонт» для нанопрепарата RVS, необходимое время для полного завершения модификации поверхностей трения в ДВС должно быть не менее 15 часов. Для машины трения СМЦ-2 необходимое время модификации поверхностей образцов должно быть не менее 3 часов, при обеспечении температурного режима $60^{\circ}\text{C} < t < 90^{\circ}\text{C}$ и удельного давления в зоне трения $\sigma_y > 1,5 \text{ МПа}$.

Указанные параметры были приняты в основу при проведении триботехнических исследований, по определению коэффициента трения в соответствии с разработанной методикой, описанной выше.

По результатам испытания стальных роликов на износ (рисунок 22), было принято решение об установлении закономерности изменения коэффициента трения только для двух марок наноматериалов в составе моторного масла, как наиболее эффективных. Это нанопрепараты Eco Universal Oil Package фирмы «Wagner» и RVS НПО «Руспромремонт».

Перед проведением экспериментов пары притирались и прирабатывались на моторном масле при удельном давлении в зоне трения $\sigma_y = 8 \text{ МПа}$, $P_n = 120 \text{ Н}$ до стабилизации момента трения.

При эксперименте после 20 минут обкатки температура стабилизировалась и не превышала 60°C .

Во всех экспериментах процесс по принятой схеме трения (рисунок 14) отличался стабильностью, отсутствием «заеданий», «схватывания» и колебаний момента трения - M_{τ} .

Средний износ колодки за 5 часов эксперимента на чистом моторном масле составил 0,035 г. При этом масло изменило свой цвет, существенно потемнело.

Средний износ колодки за 5 часов эксперимента с нанопрепаратом RVS НПО «Руспромремонт» составил 0,009 г. Цвет масла изменился - потемнело так же, как и при эксперименте на чистом масле.

Средний износ колодки за 5 часов эксперимента с препаратом Eco Universal Oil Package фирмы «Wagner» составил 0,003 г. При этом цвет масла не изменился.

Очевидно, что различие величин износов образцов при испытании наноматериалов определяется различием коэффициентов трения в трибосопряжении (рисунок 23) [36].

Закономерность изменения коэффициентов трения от вида наноматериала и продолжительности эксперимента представлена на рисунке 23.

Из рисунка 23 следует, что при максимально возможном приближении условий трения на машине трения (рисунок 14) к условиям трения поршневого кольца и «зеркала» гильзы, добавки наноматериалов в моторное масло могут существенно снижать коэффициент трения в главных ресурсопределяющих сопряжениях деталей цилиндра-поршневой группы, а также в сопряжениях других механизмов машин и тем самым сокращать механические потери в агрегатах машин и экономить ТСМ.

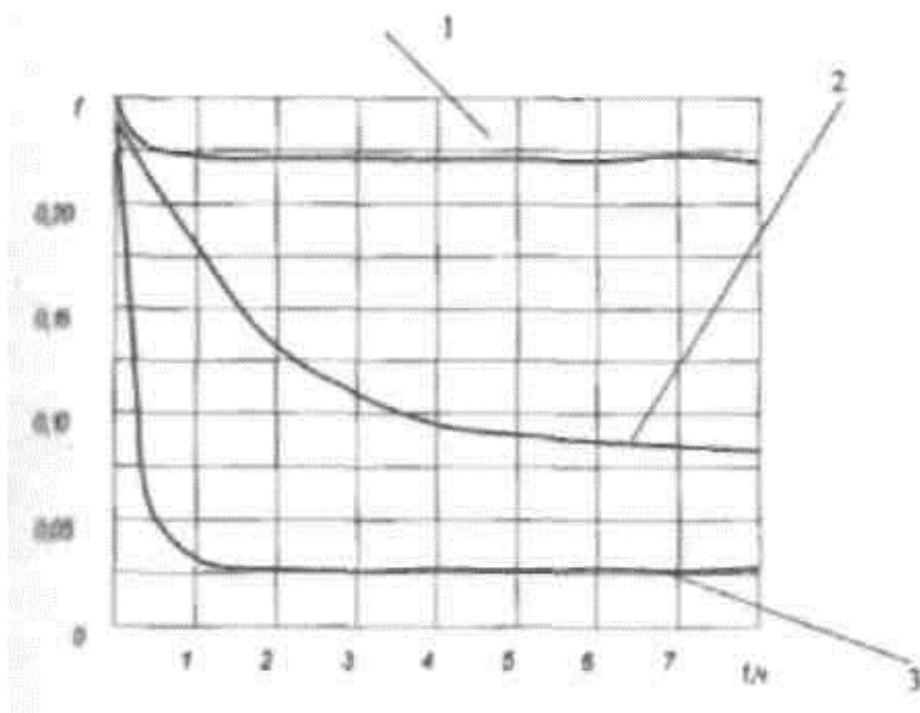


Рис. 23. Влияние наноматериалов в составе моторного масла на изменение коэффициента трения 1 • чистое моторное масло; 2 - RVS в составе моторного масла; 3 - Oil Package в составе моторного масла

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. По результатам триботехнических исследований для начального послеремонтного периода штатной эксплуатации двигателей и агрегатов машин с точки зрения экономии ТСМ и продления ресурса машин, рацио-

нальным нанопрепаратом является препарат фирмы «Wagner», несмотря на то, что он не обладает свойством восстанавливать зазоры и геометрию деталей. Препарат RVS так же может использоваться в этот период эксплуатации машин.

2. Ожидаемую экономию дизельного топлива от применения наноматериала Oil Package необходимо подтвердить стендовыми испытаниями дизельного двигателя.

3. Экспериментально подтверждена предпосылка о продлении послеремонтного ресурса в начальный период штатной эксплуатации машин (рисунок 4).

6.1.3. Рекомендации по выбору наноматериала для продления ресурса в последующий послеремонтный период штатной эксплуатации сельхозтехники

В разделе 2 данного пособия указывается, что для продления ресурса в последующий, установленный нами третий период, штатной эксплуатации сельхозтехники целесообразно применять наноматериалы 4 класса - ревитализанты (рисунок 4).

Применение ревитализантов в этот период особенно важно для сельхозтехники после капитального ремонта и модернизации. По результатам эксплуатационной проверки эффективности по восстановлению зазоров и геометрии ресурсных деталей, проведенной нами, нанопрепарат RVS НПО «Руспромремонт» является наиболее доступным для сельского хозяйства и рациональным. Поэтому мы рекомендуем применять наиболее эффективный, по нашим данным, нанопрепарат RVS НПО «Руспромремонт» и для новой техники, так как к началу третьего периода эксплуатации завершится гарантийный период эксплуатации, ограничивающий пока (без корректировки заводских инструкций) использование нанодобавок.

Для доказательства возможности продления последующего (после начального) послеремонтного периода или послегарантийного периода (для новой техники) штатной эксплуатации тракторов без разборки, необходимо экспериментально доказать и показать образование и наличие наращенного защитного слоя (МКЗС) или антифрикционной пленки на поверхности трения образца [36].

С этой целью были проведены длительные опыты на машине трения СМЦ-2 по первой схеме нагружения и трения трибосопряжения, представленной на рисунке 13. Из 4-го класса наноматериалов-ревитализантов, с учетом результатов экспериментов, опыт был проведен с нанопрепаратом RVS НПО «Руспромремонт».

Получить и зафиксировать образование МКЗС или пленку на образцах из чугуна по схеме нагружения трибосопряжения, представленной на рисунке 14, нам не удалось даже при большой продолжительности эксперимента -

более 10 часов. Вероятно, образование антифрикционной пленки на образцах из чугуна возможно только при длительной непрерывной работе машины трения не менее 30 - 50 часов, несмотря на то, что существенное снижение коэффициента трения было отмечено через 3 - 4 часа (рисунок 23).

Антифрикционная пленка была получена на стальных образцах (рисунок 12) по схеме нагружения и трения трибосопряжения, представленной на рисунке 13 через 12 -15 часов работы машины трения СМЦ-2. Как уже отмечалось выше в разделе «Методика...», критерием начала образования антифрикционной пленки или МКЗС является достижение момента неизменности массы образца в результате изнашивания-трения, причем не только стабильности массы образца, но и ее приращение до 0.001 г. Вероятно, это можно объяснить большей удельной нагрузкой и повышенной температурой в трибосопряжении до 140°С вместо 60°С при трении образцов из чугуна.

Образование пленки зафиксировано путем замера электросопротивления на поверхности трения образца по методике, показанной на рисунке 16.

На рисунке 17 показано измерение сопротивление МКЗС на поверхности поршневого кольца дизельного двигателя автобуса «Икарус» после длительной эксплуатации. Электросопротивление МКЗС или пленки превышает 300 Ом по прибору Ф4313. Стрелка прибора отклоняется до конца шкалы, то есть до бесконечности.

Образование противозносной пленки на поршневом кольце доказывает достоверность наличия пленки на образце, полученной на СМЦ-2 [36].

Установленный экспериментально факт наличия диэлектрической антифрикционной пленки является доказательством того, что ревитализанты, и в частности RVS, могут компенсировать зазоры, увеличившихся в результате износа сопрягаемых деталей, восстанавливать геометрию ресурсных деталей и, следовательно, продлевать как послеремонтный последующий ресурс, так и послегарантийный ресурс для новой техники. Однако необходимо отметить, что предлагаемый способ продления ресурса без разборки агрегатов возможен и будет эффективным при условии, если до обработки RVS, по результатам диагностирования, зазоры будут находиться в пределах допустимых значений и не достигнут своих предельных величин.

Таким образом, в результате обсуждения полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Для последующего третьего периода штатной эксплуатации тракторов рекомендуется применять RVS-технология, продлевающую ресурс. Нанопрепарат RVS НПО «Руспромремонт» в составе моторного масла существенно снижает коэффициент трения и обладает свойством образовывать МКЗС и антифрикционную пленку на поверхности трения образцов и деталей, восстанавливать зазоры.

2. Стабилизация массы образцов при трении на машине трения СМЦ-2 и даже незначительное ее приращение при испытании RVS, а также зафиксированный факт наличия пленки на поршневом кольце является доказательством выдвинутой предпосылки о возможности продления ресурса машин (рисунок 4).

3. В разделе «Мониторинг эксплуатационных испытаний...» данного учебного пособия будет показано фактическое продление ресурса двигателей и агрегатов машин с помощью нанопрепаратов «RVS» и «Wagner» на основании актов и протоколов по контролю технического состояния различных марок машин, что также будет свидетельствовать о достоверности результатов триботехнических исследований и рекомендаций по выбору из большой группы препаратов ВАФПИД рациональных нанопрепаратов фирмы «Wagner» и RVS НПО «Руспромремонт».

6.2. Результаты проверки эффективности нанопрепаратов фирмы «Wagner» при испытании дизельного двигателя Д-240 на стенде

Цель испытания: подтвердить результаты лабораторных триботехнических исследований препарата фирмы «Wagner» - Eco-Universal Oil-Package в составе моторного масла по снижению механических потерь и расхода топлива.

Результаты испытаний представлены в таблице 4 [37].

Таблица 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ Д-240

№ п/п	Наименование параметра двигателя	Среднее значение параметра до применения препарата	Среднее значение параметра после применения препарата	% изменения показателя
1.	Часовой расход топлива, G_T кг/ч	2,51	2,12	15,5
2.	Цикловая подача топлива, q_{μ} мг/цикл	11,27	9,74	13,5
3.	Удельный индикаторный расход топлива q_i г/кВтч	187	163	12,8
4.	Индикаторный КПД	0,46	0,53	15,2
5.	Механические потери при прокрутке, кВт	8,43	7,99	5,2

Из таблицы 4 следует, что потеря мощности на механическое трение в сопряжениях механизмов двигателей снизилась на 5,2% и в связи с этим существенно снизился часовой расход дизельного топлива на 15,5% и, соответственно, повысился индикаторный КПД на 15,2%.

Определенный научный интерес представляют закономерности изменения основных характеристик двигателя Д-240 при работе на моторном мас-

ле, содержащем нанопрепарат, относительно работы двигателя на чистом масле. Изменения этих закономерностей представлены на рисунках 24; 25; 26; 27 и 28 [37].

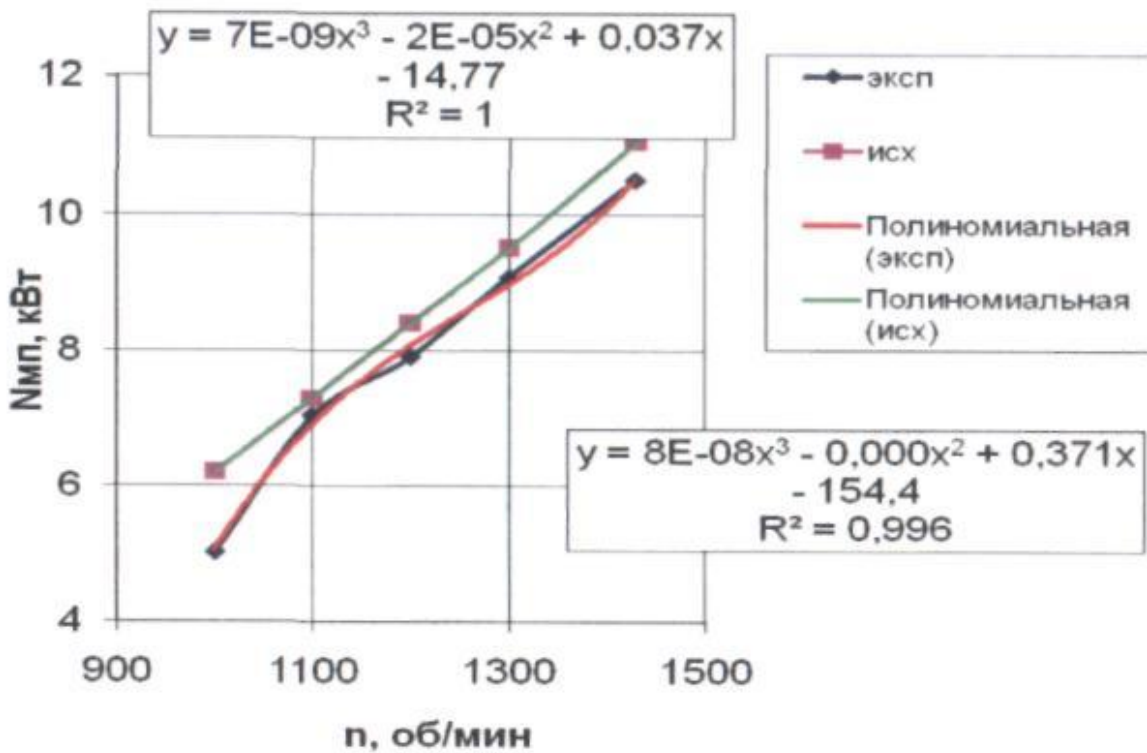


Рис. 24. Влияние нанопрепарата Oil Package на механические потери в двигателе Д-240

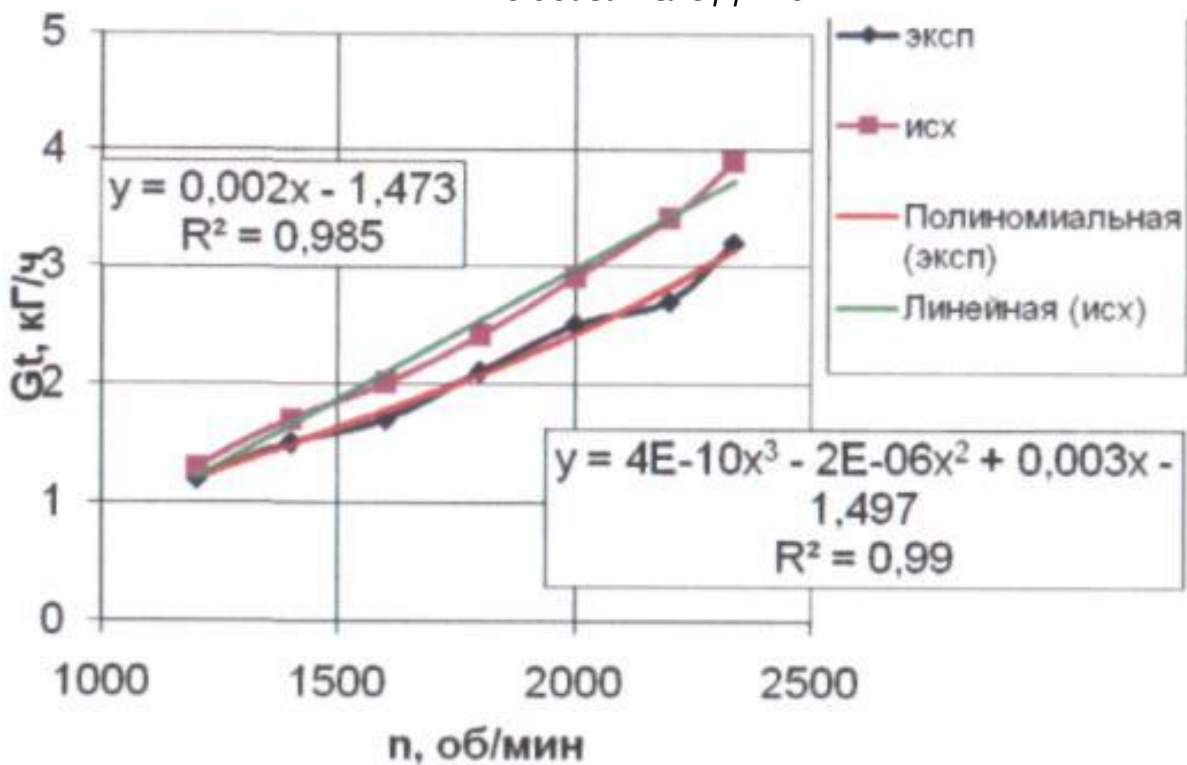


Рис. 25. Влияние нанопрепарата Oil Package на часовой расход топлива двигателя Д-240

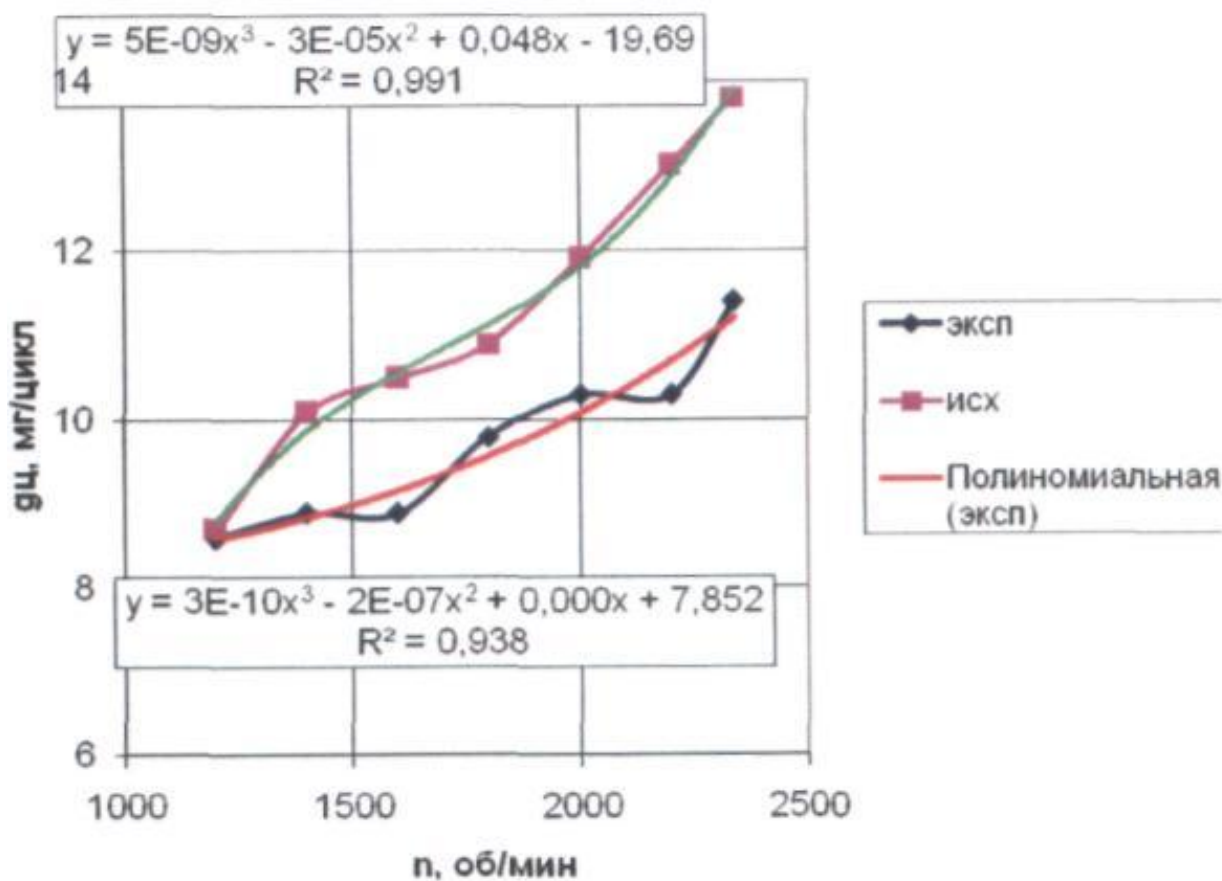


Рис. 26. Влияние нанопрепарата Oil Package на цикловую подачу топлива двигателя Д-240

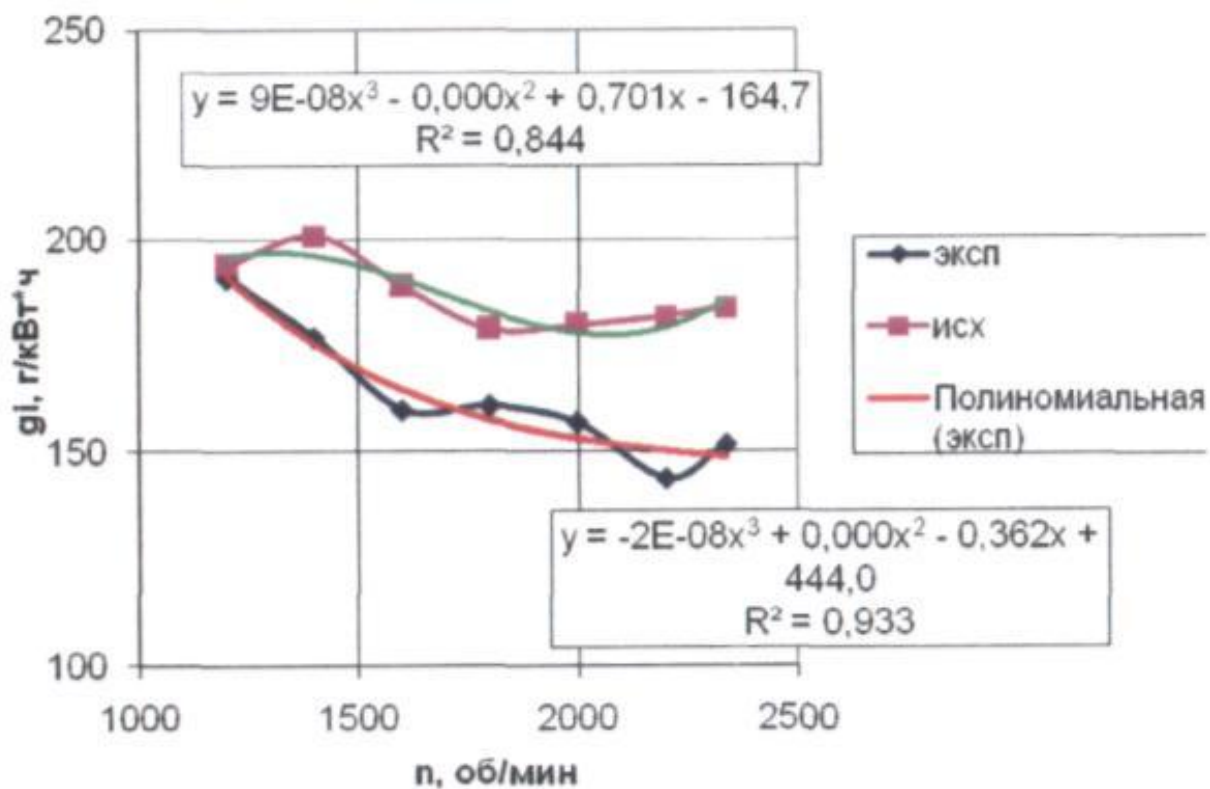


Рис. 27. Влияние нанопрепарата Oil Package на удельный индикаторный расход топлива двигателя Д-240

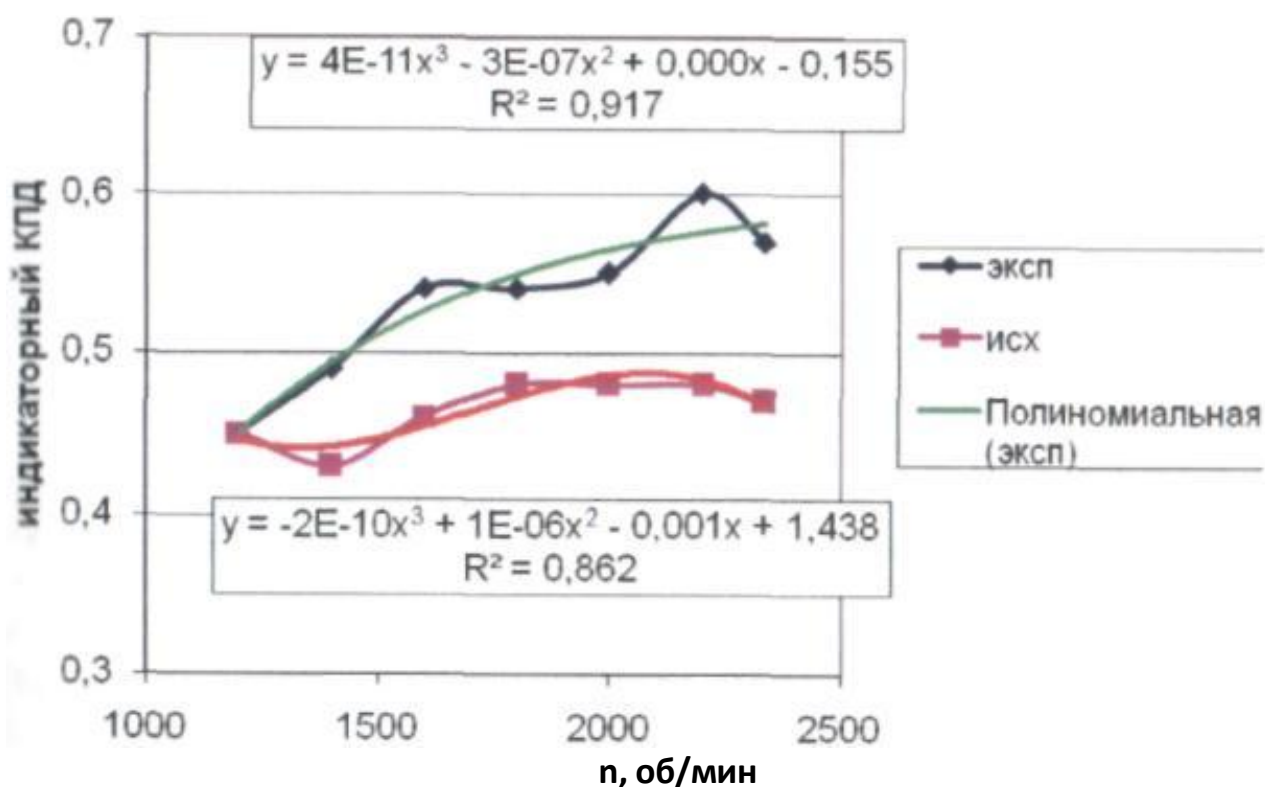


Рис. 28. Влияние нанопрепарата Oil Package на индикаторный КПД двигателя Д-240

На всех графиках изменения основных показателей двигателя приведены экспериментальные математические модели закономерностей с указанием значения коэффициентов ковариации - R^2 , который для всех уравнений превышает значение 0,9.

Из представленных закономерностей и таблицы 4 результатов испытаний следует, что разработанные методики триботехнических исследований нанопрепаратов достоверны.

Полученная на стенде экономия дизельного топлива 15,5% от применения наноматериала в составе моторного масла для двигателя Д-240 (тракторы типа МТЗ) подтверждает выдвинутую предпосылку об экономии ТСМ применением наноматериалов в процессе штатной эксплуатации.

Дополнительно к стендовым испытаниям двигателя Д-240 с примененном нанопрепарата Oil Package в составе моторного масла, нами проведены полевые испытания двигателя ЯМЗ-240 трактора К-701 [37].

Цель проверки эффективности препарата Oil Package была: выявить снижение механических потерь в двигателе применением методики контроля изменений числа оборотов коленчатого вала при минимальной и максимальной подачах топлива. Изменение числа оборотов коленчатого вала фиксировалось тахометром часового типа ТЧ10-Р (класс точности 1,0) до заливки и после заливки препарата в картер двигателя. Концентрация Oil Package в масле составляла 7,0%. Предварительно была проведена замена моторного масла и фильтра, приуроченная к очередному техническому обслужива-

нию. Препарат заливали в картер предварительно прогретого двигателя до 60°C. Замеры числа оборотов коленчатого вала производились через 50 минут работы двигателя на холостых оборотах без нагрузки.

В результате было выявлено, что при минимальной подаче топлива число оборотов увеличилось на 51 мин⁻¹, а при максимальной подаче топлива, соответственно, на 105 мин⁻¹. В среднем число оборотов возросло более чем на 5%.

Из полученных результатов опыта следует, что при работе двигателя на номинальном режиме (числах оборотов) будет меньше расходоваться дизельного топлива.

Ориентировочный расчет экономии дизельного топлива показал, что для двигателя ЯМЗ-240 трактора К-701 (двигатель двенадцатицилиндровый) часовой расход топлива должен уменьшиться на 5 - 7% в условиях рядовой эксплуатации от применения препарата Oil Package.

Полученные различия в экономии часового расхода топлива на стенде двигателем Д-240 (15,5%) и в полевых условиях двигателем ЯМЗ-240 (5 -7%) можно объяснить различной точностью замеров числа оборотов коленчатого вала тахометром и точностью подачи топлива.

Кроме того, нами установлено, что в условиях эксплуатации реальных механизмов, обработанных препаратом Oil Package, наибольший эффект в снижении трения в сопряжениях деталей наблюдается после 5 - 6 часов непрерывной работы. На двигателе ЯМЗ продолжительность обработки составила менее 1 часа.

Однако можно утверждать, что если в условиях рядовой эксплуатации тракторов использование нанопрепаратов сократит расход топлива даже до 10%, то это может дать значительный экономический эффект в сельскохозяйственном производстве.

6.3. Результаты проверки эффективности нанопрепарата фирмы «Wagner» при испытании коробки передач трактора Т-170 и трансмиссии трактора РТ-М-160

Цель испытания: подтвердить результаты лабораторных триботехнических исследований препарата Eco-Universal Oil Package фирмы «Wagner» в составе трансмиссионного масла по снижению механических потерь.

Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Из таблицы 5 следует, что потребление электрической энергии на привод КП на всех передачах в среднем снизилась на 31,5% [38].

Существенное снижение потребляемой мощности на 31,5% дает основание считать, что наноматериал Oil Package обеспечивает снижение коэффициента трения в сопряжениях КП на всех передачах. Это также подтверждает достоверность методики и результаты триботехнических исследований наноматериалов.

Таблица 5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ КП ТРАКТОРА Т-170

Скорости	Нормальный диапазон скоростей				Ускоренный диапазон скоростей				Задний ход				Среднее значение снижения потребляемой мощн. В %
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Потребляемая мощность до обработки препаратом, кВт	2,92	3,00	3,07	4,05	3,15	3,07	3,22	4,27	3,52	3,30	3,60	4,42	31,5
Потребляемая мощность после обработки препаратом, кВт	2,17	2,17	2,17	2,62	2,17	2,17	2,10	3,00	2,40	2,40	2,40	3,15	

Определенный научный интерес представляют закономерности изменения потребляемой мощности на привод КП от воздействия препарата Oil Package в составе трансмиссионного масла на разных скоростях. Эти закономерности показаны на рисунке 29.

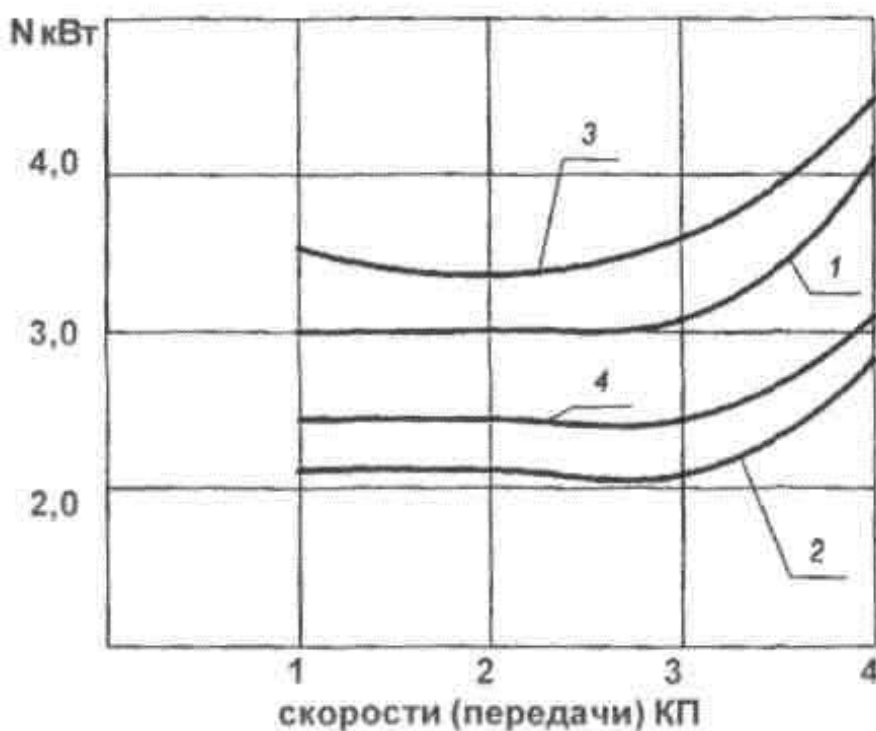


Рис. 29. Закономерности изменения потребляемой мощности (коэффициента трения) при обкатке КП трактора Т-170 и влияния нанопрепарата Oil Package на различных передачах (скоростях) «вперед» и «назад»

1 - средняя потребляемая мощность на нормальном и ускоренном диапазонах скоростей «вперед» без нанопрепарата Oil Package; 2 - средняя потребляемая мощность на нормальном и ускоренном диапазонах скоростей «вперед» с нанопрепаратом в составе трансмиссионного масла; 3 - потребляемая мощность на скоростях заднего хода без нанопрепарата Oil Package; 4 – потребляемая мощность на скоростях заднего хода с нанопрепаратом.

Из рисунка 29 следует, что на 3-й и особенно на 4-й передачах, с увеличением скорости вращения валов и, следовательно, с увеличением удельных давлений в трибосопряжениях, эффект от положительного воздействия нанопрепарата Oil Package возрастает. Потребление мощности привода КП снижается с 1,01 кВт на 3-й передаче до 1,35 кВт на четвертой передаче [38].

Экономия топлива определяется по формуле:

$$\Delta G_T = g_e \cdot \Delta N, \text{ кг/ч,}$$

где ΔG_T - сокращение часового расхода топлива за счет уменьшения механических потерь мощности в коробке передач;

g_e - удельный расход топлива г/кВтч.

Ориентировочная экономия топлива будет равна:

$$\Delta G_T = 240 \cdot 1,15 = 276 \text{ г/ч} = 0,276 \text{ кг/ч.}$$

По нашей заявке проведены стендовые испытания нанопрепарата Universal-Micro-Ceramic Oil фирмы «Wagner» на трансмиссии трактора РТ-М-160 на заводе ОАО «НПК Уралвагонзавод» с применением средств измерения и контроля лаборатории триботехники завода [39].

В результате проведенных исследований выявлено, что нанопрепарат фирмы «Wagner» снижает температуру в подшипниках заднего моста и вибрацию примерно на 10% и потребляемую мощность до 10%. Данные заводских испытаний на «НПК Уралвагонзавод» подтверждают достоверность наших испытаний КП трактора Т-170 на Челябинском заводе тракторных трансмиссий (ЧЗТТ), а также результаты наших исследований и выдвинутые нами предпосылки по продлению ресурса тракторов.

7. Мониторинг результатов проверки эффективности применения наноматериалов по продлению послеремонтного ресурса машин в условиях рядовой эксплуатации

Целью проведения мониторинга является подтверждение достоверности результатов лабораторных триботехнических исследований наноматериалов и стендовых испытаний двигателя и трансмиссии тракторов, обработанных наноматериалами.

Мониторинг проведен по результатам проверки эффективности нанопрепаратов фирмы «Wagner» и RVS по семи предприятиям Челябинской области [10, 14, 35,40].

Под наблюдение и контроль были взяты следующие виды машин:

- 3 трактора К-701 (двигатель ЯМЗ-240), 2 трактора К-700А (двигатель ЯМЗ-238НБ), трактор МТЗ-82 (двигатель Д-243), трактор МТЗ-82 (трансмиссия), трактор МТЗ-80 (трансмиссия);

- 3 автомобиля КамАЗ (двигатель КамАЗ-740). автомобиль УАЗ-39095 (двигатель);

- 2 автобуса «Икарус» гар. № 256 (междугородный) - двигатель Raba-man D-2156 и автобус «Икарус» гар. № 280 (сочлененный) - двигатель Raba-man D-2156 и легковые автомобили, несколько марок, в том числе и иномарки.

Перед обработкой нанопрепаратами, по результатам диагностирования и экспертных оценок технического состояния все двигатели подлежали капитальному традиционному ремонту, кроме двигателей легковых автомобилей. Этот факт фиксировался в актах. После двух и более лет наблюдений и контроля составлялись заключительные акты, из которых следует, что применение наноматериалов фирмы «Wagner» и RVS в режиме штатной эксплуатации машин, позволяет поднять компрессию в цилиндрах двигателя до 3 кг/см^2 , в два раза снизить вибрацию двигателя, увеличить давление масла и продлить послеремонтный ресурс дизельных двигателей и трансмиссий в два и более раза (более 2 лет) без ремонта и что при заключительном контроле все двигатели и трансмиссии находились в нормальном техническом состоянии и были рекомендованы к дальнейшей эксплуатации. Таким образом, выдвинутые нами теоретические предпосылки о возможности продления ресурса сельхозтехники в 2 - 3 раза и более без ремонта, применением соответствующих классов и марок наноматериалов для каждого периода эксплуатации машин (рисунок 4), подтверждены не только лабораторными и стендовыми испытаниями, но и результатами мониторинга за длительный период эксплуатации машин.

8. Экономическая оценка применения наноматериалов

Положительные результаты применения РВС-технологии для продления ресурса дизельных двигателей тракторов, полученные нами и другими организациями, убедительно доказывают факт увеличения в два и более раза межремонтного периода. При этом исключается, как минимум, один капитальный ремонт двигателя в ЦРМ СХП по традиционной технологии, включающую операции по очистке, мойке двигателей, дефектации комплектации новыми запасными частями, по сборке и обкатке. Все перечисленные операции являются трудоемкими, энерго- и ресурсозатратными и требуют высокой квалификации исполнителей и соответствующей технической оснащенности центральных ремонтных мастерских СХП.

Обследование ЦРМ нескольких прибыльных СХП Челябинской области показало, что технические требования на капитальный ремонт двигателей в

условиях ЦРМ невыполнимы, а из этого следует, что и средний ресурс двигателей после ремонта не может быть более 1000 моточасов.

Исходя из вышеизложенного, нами выполнен расчет экономического эффекта от применения RVS-технологии.

Определение экономического эффекта от внедрения новой технологии безразборного, в режиме штатной эксплуатации, продления ресурса двигателя ЯМЗ-240 трактора К-701 основывается на сопоставлении конкретных затрат по базовому (затраты на капитальный ремонт ДВС в ЦРМ) и новому (затраты на выполнение безразборного ремонта при помощи наноматериала вариантам).

Величина эффекта выражается в стоимостной форме, исходя из существовавших в 2005 г. цен, применительно к конкретному сельскохозяйственному предприятию [40].

На проведение очередного капитального ремонта двигателя ЯМЗ-240 были закуплены запасные части на сумму 32 тыс. рублей.

В процессе обработки двигателя трактор К-701 из эксплуатации не выводился. Затраты на ремонт при помощи RVS-технологии составили - 9810 рублей (стоимость только RVS).

Стоимость замены масла и маслофильтра не учитывается, т.к. эти затраты совпали с плановой заменой масла при ТО.

Экономический эффект от внедрения RVS-технологии только по материальным затратам составляет.

$$\mathcal{E} = Z_{\text{зап.части}} - Z_{\text{RVS}} = 32020 - 9810 = 23210 \text{ руб.}$$

Проведенный расчет экономического эффекта от внедрения безразборного, в режиме штатной эксплуатации, продления ресурса двигателя ЯМЗ-240 показал, что только за счет экономии запасных частей экономический эффект для одного двигателя составляет 23210 руб. [40]. Кроме этого, исключен простой трактора в ремонте, в два раза увеличен межремонтный интервал для данного двигателя, а также исключены затраты на разборочно-сборочные работы, обкатку двигателя и другие трудо- и энергозатарты.

9. Технологическая инструкция по применению ремонтно-восстановительного состава для продления ресурса дизельных двигателей тракторов

Как показали результаты экспериментальных исследований и опытно-производственных испытаний по продлению ресурса двигателей в третий последующий послеремонтный период рядовой эксплуатации тракторов наиболее эффективным наноматериалом является состав RVS производства НПО «Руспромремонт» г. С.-Петербурга. Многократно проведенная

опытно-производственная проверка эффективности RVS-технологии на двигателях ЯМЗ-240 (К-701), ЯМЗ-238НБ (К-700А), Д-243 (МТЗ-82) и др. марок позволили нам отработать технологическую инструкцию по применению нанопрепарата RVS.

Технологическая инструкция рассчитана на применение ее непосредственно в СХП специалистом СХП, имеющим среднетехническое образование по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники. Рекомендуется, чтобы данный специалист прошел обучение на факультете повышения квалификации (ФПК), например, в Челябинской государственной агроинженерной академии или в другом учебном заведении, имеющим право на обучение по RVS-технологии в течение не менее 2 - 3 дней.

Содержание технологической инструкции

Введение. Ремонтно-Восстановительный Состав (RVS) предназначен для продления ресурса двигателей и агрегатов в процессе их штатной эксплуатации. Особенно важно применение RVS для послеремонтного периода эксплуатации двигателей. Ремонтно-Восстановительный Состав (RVS) химически нейтрален и не меняет свойств масел и смазок, в которые он добавляется. Он «работает» на металл в трибосопряжениях.

Ремонтно-Восстановительный состав (RVS), попадая в места трения и износа механизма, за счет термохимических процессов образует и наращивает металло-керамический защитный слой (МКЗС) обладающий низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью - в 2-3 раза выше, чем металл детали.

В процессе обработки механизмов двигателя по RVS-технологии восстанавливаются ресурсные сопряжения и продлевается ресурс

Обработка проводится в два-три приема и, при правильной оценке исходного технического состояния двигателя, послеремонтный срок его эксплуатации может быть продлен в 2-4 раза.

В отличие от присадок в маслах, снижающих износ механизма, Ремонтно Восстановительный Состав (RVS) восстанавливает размеры деталей в местах износа за счет МКЗС и в дальнейшем не требуется добавления RVS при каждой замене масла.

В двигателях внутреннего сгорания воздействию RVS подвергаются только пары трения, куда подается масло под давлением или разбрызгиванием:

- шейки и вкладыши коленчатого вала;
- гильзы, поршни, поршневые пальцы и поршневые кольца;
- цепь и шестерни привода распределительного вала;
- опоры и кулачки распределительного вала;

- рычаги и толкатели клапанов;
- стержни клапанов и направляющие втулки;
- масляный насос, валы и опоры вспомогательных механизмов;
- механическая часть ТНВД, если она связана с общей системой смазки двигателя;
- механическая часть воздушного компрессора, если она связана с общей системой смазки двигателя;
- подшипники турбокомпрессора, если их смазка связана с общей системой смазки двигателя.

Правильное применение комплектов RVS-Technology™ или RVS master™ позволяет:

- повысить и выровнять компрессию по цилиндрам двигателя;
- поднять давление масла в системе смазки и увеличить наработку или пробег между его заменами;
- снизить расход топлива и токсичность выхлопных газов;
- снизить шумы и вибрации при работе двигателя;
- обеспечить дополнительный ресурс;
- облегчить пуск холодного двигателя.

В упаковках «RVS-Technology™ Engine Treatment» или RVS master™ находятся краткие инструкции по применению Ремонтно-Восстановительных Составов, но в них дана только последовательность самой обработки двигателя.

Выполнение рекомендаций данной инструкции позволит не только увеличить послеремонтный ресурс двигателей, но и обрабатывать двигатели с большим износом до 60 - 70%, вместо 50%, указанных в инструкциях поставщиков нанопрепаратов, и с максимальной эффективностью.

1. Методы оценки технического состояния ДВС.

В последнее время при эксплуатации автотракторной техники владельцы отказываются от планово-предупредительной системы ТО и ремонта и переходят на систему ремонтно-обслуживающих работ по результатам оценки текущего технического состояния двигателя или агрегата.

Этот подход, связанный с более полным использованием ресурса ДВС и агрегатов, позволяет снизить эксплуатационные расходы и простои автотракторной техники.

От прежней системы ТО и ремонта остаются только операции по периодической замене масла и некоторые регулировочные работы.

Необходимость оценки текущего технического состояния двигателей возникает, как правило, из-за:

1. Снижения мощности;
2. Увеличения расхода топлива;

3. Увеличения расхода масла;
4. Появления стука в шатунной группе.

Первый признак, основанный на ощущениях водителя, несколько субъективен, но второй и третий, основанные на статистических данных по описанию топлива и масла, несут достаточно объективную информацию о текущем состоянии ДВС. Особенно важно соотношение расхода масла к расходу топлива.

Для дизелей принимается предельный расход масла на угар не более 1,5% от расхода топлива.

При превышении этого показателя автотракторная техника снимается с эксплуатации для определения объема ремонта.

Примечание: предполагается, что снижение эффективной работы двигателя не связаны с работой топливной системы и газораспределительного механизма.

Обработка двигателей Ремонтно-Восстановительными Соствами позволяет устранить первые три признака неудовлетворительной работы двигателя без разборки в процессе штатной эксплуатации за 50-70 моточасов работы

По четвертому признаку, как правило, проводится капитальный ремонт с полной разборкой, заменой дефектных деталей, шлифовкой или заменой в/вала, заменой цилиндро-поршневой группы.

Практика эксплуатации автотракторной техники показывает, что снижение работоспособности двигателей внутреннего сгорания происходит чаще из-за износа цилиндро-поршневой группы.

В среднем на два-три ремонта цилиндро-поршневой группы приходится одна замена коленчатого вала или шлифовка его на ремонтный размер.

Применение Ремонтно-Восстановительных Составов (RVS) позволяет восстановить работоспособность двигателя и увеличить межремонтный период эксплуатации.

2. Уточнение технических параметров и подготовка двигателя к обработке Ремонтно-Восстановительными Соствами (RVS).

2.1. Проверить наличие утечек масла через сальники и прокладки.

Утечка масла через сальники и прокладки снижает эффективность восстановления ДВС (вместе с утечкой масла уйдет часть ремонтного состава, не успев выполнить функцию восстановления).

2.2. Провести работы в объеме ТО:

проверка ТНВД и регулировка форсунок, включая угол опережения впрыска. Для бензинового двигателя - проверить установку опережения зажигания и регулировки карбюратора;

- регулировка зазоров в газораспределительном механизме.

2.3. Провести замер компрессии по цилиндрам двигателя.

На многоцилиндровых дизелях замер компрессии рекомендуется проводить на оборотах холостого хода, поочередно переставляя компрессо-метр с цилиндра на цилиндр (прокрутка стартером малоэффективна из-за резкого снижения емкости аккумулятора к концу проверки). Оценка результатов замера компрессии:

-если перепад по цилиндрам дизеля не превышает 5кг/см², а на бензиновом двигателе 2 кг/см², то обработка по RVS-технологии таких двигателей будет эффективна.

Полученные данные зафиксировать как исходные перед обработкой.

- Если перепад давлений по цилиндрам имеет большее значение, то основными причинами данного состояния могут быть:
- закоксованы поршневые кольца в канавках поршней;
- поршневые кольца сломаны, возможно обрушены перегородки поршней;
- поршневые кольца потеряли упругость из-за перегрева двигателя;
- замки поршневых колец развернуты в одну сторону (влияние топлива низкого качества или эксплуатация двигателя на ранней установке опережения зажигания или опережения впрыска).

Для уточнения причин низких показателей компрессии необходимо:

- провести очистку поршневых колец во всех цилиндрах, используя препараты «Лавр», МЛ-202 или другие рекомендованные смеси.

Если после очистки поршневых колец показания изменились:

- в большую сторону, причем, если разность показаний компрессии по цилиндрам уменьшилась, то произошло «раскоксовывание» колец и обработка двигателя по RVS-технологии будет результативна;
- остались на прежнем уровне или снизились, то необходимо произвести ревизию поршневой системы (разборка).

В данной ситуации рекомендуется:

- произвести замену поршневых колец (при условии, что зазоры между поршнями и цилиндрами не превышают предельных значений);
- обеспечить наработку двигателя равную или 150-200 моточасов, или пробег 3000-5000 км для прикатки новых поршневых колец по цилиндрам ДВС;
- произвести замену масла с промойкой масляной системы, замену масляного фильтра или очистку центробежного очистителя масла;
- применить Ремонтно-Восстановительные Составы.

Примечание: иногда достаточно после выемки поршней выставить замки поршневых колец по рекомендации завода, собрать и произвести обработку по RVS-технологии.

Преимущества данного подхода:

1. Данные работы гораздо дешевле традиционного капитального ремонта.

2. Ресурс двигателя после обработки по RVS-технологии составит 2-2,5 тыс моточасов, или пробег автомобиля не менее 70000-100000 км.

Для обработки двигателей внутреннего сгорания по RVS-технологии используются комплекты, ориентированные на объем масла в картере ДВС.

Бензиновые двигатели:

1 категория (RVS - 1), G4, Ga4	Объем моторного масла 2-4 л
2 категория (RVS - 2), G6, Ga6	Объем моторного масла 4-6 л

Дизельные двигатели:

3 категория (RVS - 3), D4, Di4	Объем моторного масла 2-4 л
4 категория (RVS - 4), D6, Di6	Объем моторного масла 4-6 л
6 категория (RVS - 5), D40, Di35	Объем моторного масла 28-40 л

В скобках указаны старые обозначения препаратов, обозначения Ga и Di относятся к RVS-мастер финского производства.

Если объем масла больше, чем предполагается в комплектах, необходимо подобрать набор из разных комплектов.

Обработка двигателей проводится за два приема с промежуточной наработкой 15-20 моточасов или пробегом 500 - 700 км между обработками при кратковременном характере эксплуатации. При интенсивном (полноценном) режиме эксплуатации, соответственно, через 10-12 моточасов и 350 - 400 км.

Напоминаем, что перед обработкой двигателя по RVS-технологии необходимо провести:

- проверку ТНВД и регулировку форсунок, включая угол опережения впрыска. Для бензинового двигателя - проверить установку опережения зажигания и регулировки карбюратора;
- регулировку зазоров в газораспределительном механизме;
- замену масла в ДВС с промывкой масляной системы;
- промывку центробежного очистителя масла или замену масляного фильтра.

3. Первая обработка двигателя.

3.1. Прогреть двигатель до температуры 50-80°C.

3.2. Выдавить содержимое тюбика в бутылку из состава комплекта, тщательно перемешать (взболтать). Смесь RVS-мастер тщательно взболтать.

3.3. Третью часть приготовленной смеси (-70 см³), доведенной до однородного состава, залить в масляный картер. На некоторых двигателях маслозаливная горловина имеет в нижней части изгиб, где образуется застойная пена. В этом случае заливать смесь необходимо через отверстие для масляного щупа.

3.4. Запустить двигатель и обеспечить его работу на холостом ходу в течение 15-20 мин.

- 3.5. Остановить двигатель, взболтать смесь и залить половину оставшейся смеси в масляный картер.
- 3.6. Запустить двигатель и обеспечить его работу на холостом ходу в течение 15-20 мин.
- 3.7. Остановить двигатель, взболтать смесь и залить оставшуюся часть в масляный картер.
- 3.8. Запустить двигатель и обеспечить его работу на холостом ходу в течение 15-20 мин.
- 3.9. Эксплуатировать автотракторную технику до второй обработки в течение 500-700 км (15-20 моточасов) при кратковременном характере эксплуатации, или через 350-400 (10-12 моточасов) при интенсивном (полноменном) режиме эксплуатации.

Примечание, в процессе эксплуатации автотракторной техники после первой обработки по RVS-технологии возможен подъем числа оборотов х/хода. В данной ситуации необходимо провести регулировку карбюратора или ТНВД.

4. Вторая обработка двигателя.

Вторая обработка двигателя проводится аналогично первой.

- 4.1. Выполнить операции с 3.1 по 3.8.
- 4.2. Эксплуатировать автотракторную технику после второй обработки в течение 25-35 моточасов, или 1000-1200 км пробега.
- 4.3. Провести контрольные замеры аналогично п. 2.3.

Если обработка двигателя проводилась на основании учетных данных по повышенному расходу масла на угар, то с данного момента рекомендуется вести уточненный учет эксплуатационных расходов. Объем топлива, необходимый для получения сравнительных данных по работе двигателя до и после обработки, должен составлять не менее 500 литров.

5. Оценка результатов применения RVS-технологии.

Ожидаемый результат:

- увеличение компрессии по цилиндрам вплоть до заводских параметров;
- снижение перепада давлений по цилиндрам дизеля 1-1,5 кг/см², а на бензиновом двигателе до 0,5 кг/см²;
- снижение эксплуатационного расхода масла на угар до нормы.

При недостаточном эффекте восстановления параметров двигателя необходимо провести третью корректирующую обработку по RVS-технологии

Для третьей обработки используется еще один комплект, как и для предыдущих обработок.

Применение согласно п.п. 4.1. и 4.2., после чего выполнить работы по п. 4.3.

Литература

1. Черноиванов В.И. Фундаментальные исследования - основа инженерных прикладных технологий / Труды ГОСНИТИ, Т. 103. М.: 2009.-187 с.
2. Черноиванов В.И., Бледных В.В., Косилов А.Н., Басарыгина Е.М. Индустрия наносистем и материалов: перспективы использования в сельском хозяйстве. Научно-аналитический обзор. - Москва-Челябинск, 2007.-240 с.
3. Балабанов В.И. Беклемышев В.И., Гамидов А.Г. и др. Безразборный сервис автомобиля (обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление). - М.: Известия, 2007. - 272 с.
4. Ерохин М.Н., Балабанов В.И., Стрельцов В.В. и др. Нанотехнологии и наноматериалы в агроинженерии. Учебное пособие / Под ред. академика М.Н. Ерохина. - М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. - 300 с.
5. Черноиванов В.И. Нанотехнологии - основа повышения качества обслуживания и ремонта машин (сб. докладов «Применение нанотехнологии и наноматериалов в АПК»). - М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2008. - 96 с.
6. Черноиванов В.И. Стратегия развития технического сервиса АПК. Журнал Млшинно-технологическая станция № 3.2003. - М.: ГОСНИТИ, 2003. С. 2 - 6.
7. Северный А.Э., Есаков Д.И. Параметры работоспособности отечественных зерноуборочных комбайнов и необходимость их улучшения. Ж. МТС №3, 2005г.
8. Халфин М.А. Халфин М.А. Состояние и перспективы повышения качества и надежности сельскохозяйственной техники. Материалы международной научно-практической конференции «Научные проблемы и перспективы развития, ремонта, обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей». - М.: МИТИ, 2004. С. 281 -290.
9. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Халфин М.А. и др. Модернизация- основа повышения технического уровня эксплуатируемых машин и оборудования. - М.: ФГНУ "Росинформагротех" 2004. - 472 с.
10. Ольховацкий А.К., Солоницын Е.В., Солодкина Л.А. Агрегатный ремонт сокращает простои. Ж.Сельский механизатор № 9, 2005. С. 9.
11. Технологические признаки (критерии) предельного состояния основных составных частей сельскохозяйственных тракторов. - М.: ГОСНИТИ, 1982.
12. Севостьянов А.П. Качественный ремонт - основа повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники. Вестник ФГОУ МГАУ им. В.П.Горячкина, выпуск 1. 2003. М.: МГАУ, с. 61...66.
13. Халфин М.А. Качество и надежность новой и отремонтированной сельскохозяйственной техники. Ж. МТС №5, 1998. М.: ГОСНИТИ. С. 37-41.
14. Ряпич В.Г., Ольховацкий А.К., Солоницын Е.В. Повышение эффективности использования тракторов в СХП «Красноармейское» Челябинской области Ж. МТС, №4, 2005.-М.: ГОСНИТИ. С. 28-29

15. Лаптев А.А., Самоцветов А.П., Фридрих П.С. Анализ причин капитального ремонта двигателей, Ж. Техника в сельском хозяйстве. № 10, 1983.
16. Храмцов Н.В. Надежность отремонтированных автотракторных двигателей М Росагропромиздат, 1989.-159 с.
17. Денисов А.С. Изменение технического состояния двигателей в межремонтный период. Ж. Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 9, 1982, с. 47-49
18. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Халфин М.А. и др. Ресурсосбережения при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. Ч. 1 ФГНУ «Росинформагротех», -М.: -2001.-360 с.
19. Баринов А.А. Показатели надежности тракторов и машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1972. - № 5.
20. Халфин М.А., Морозова Н.А. Показатели надежности сельскохозяйственных тракторов и требования к ним. Научн.-техн. информ. сб. / ИнфорАмгроТех, М. 1991. №1.
21. Семягин П.В., Евстропов А.С. Сертификация услуг на предприятиях , ресурсного обеспечения АПК // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004, №2.-С. 2-3.
22. Кугель Р.А. Трактору надежность и долговечность // Сельский механизатор – 1997. -№11.-С.26-27.
23. Трение, изнашивание, смазка. Справочник, Кн. 1 и 2. М., Машиностроение. 1978
24. Гаркунов Д.Н. Триботехника, износ и безыносность. М., Издательство МСХА 2001,-616 с
25. Инструкции и рекламные проспекты по применению материалов: РВС, ХАДО, Ресурс-2000, ФЕНОМ, РиМет, СУПЕРМЕТ, ФОРСАН и др.
26. Балабанов В.И., Еремин В.А. Препараты для безразборного восстановления деталей Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. Технический сервис в агропромышленном комплексе. Вып. 1. М.: МГАУ, 2003.
27. Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. К вопросу снижения скорости возрастания зазоров в ресурсных сопряжениях деталей в узлах и механизмах с применением наноматериалов в процессе эксплуатации тракторов. Труды ГОСНИТИ Т.103. 2009.-М.: ГОСНИТИ, 2009. С. 111-116.
28. А.К. Ольховацкий. Повышение ресурса тракторов применением восстановительных, антифрикционных и противоизносных добавок. Информационный листок № 83-004-06. - Челябинск, ЦНТИ, 2006.
29. Нормативы надежности капитально отремонтированных тракторов (для предприятий системы Госкомсельхозтехники СССР). Москва, ГОСНИТИ, 1983

30. Баширов Р.М. Основы теории и расчета автотракторных двигателей / - Уфа: БГАУ, 2008. - 304 с.
31. Проскурнин С.А., Терентьев В.К., Ольховацкий А.К. Восстановление ресурса и параметров точности металлообрабатывающих станков / Материалы XLVI международной научно-технической конференции «Достижения науки - агропромышленному производству», Ч. 2, Челябинск: ЧГАУ, 2007. С. 138-141.
32. Никитин И.В. Способ образования защитного покрытия, избирательно компенсирующего износ поверхностей трения и контакта деталей машин / Патент РФ 2135638, бюллетень изобретений № 21, 2004.
33. Балабанов В.И., Ищенко С.А., Беклемышев В.И. Триботехнология в техническом сервисе машин. Теория и практика эффективной эксплуатации и ремонта машин. - М.: Изумруд, 2005. - 192 с.
34. Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Повышение ресурса дизельных двигателей, отремонтированных в ЦРМ сельхозпредприятий / МТС, № 1, 2007. - М.: ГОСНИТИ. С. 40-43.
35. Черноиванов В.И., Ольховацкий А.К. Продление ресурса сельхозтехники применением нанотехнологий и модернизацией в процессе ремонта. Труды ГОСНИТИ. Т. 102. - М.; 2008.
36. Мазалов Ю.А. Методика применения нанодобавок в смазочные материалы для безремонтного продления ресурса ДВС и агрегатов трактора / Ю.А. Мазалов, А.К. Ольховацкий, Р.Ю. Соловьев // Труды ГОСНИТИ. Т. 105. М.: 2010. С. 62-73.
37. Мазалов Ю.А. О продлении ресурса дизелей тракторов и экономии топлива применением наноматериалов / Ю.А. Мазалов, А.К. Ольховацкий, Р.Ю. Соловьев // Труды ГОСНИТИ. Т. 105. - М.: 2010. С. 111-116.
38. 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. Т. 105. - М.: 2010. С. 53-57.
39. Макаров И.М., Ананьев С.П., Злоказов М.В., Короткое В.А. Наномодификаторы трения для снижения износа // Наука - образование - производство: опыт и перспективы развития. Материалы научно-технической конф. с. февраля 2009 г. г. Нижний Тагил). Т. 3. НТИ(Ф) УГТУ-УПИ, 2009. - 102 с.
40. Ольховацкий А.К., Солодкин Л.Г., Дунаев А.В. Новые технологии восстановления работоспособности агрегатов машин и оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация. № 6. - М.; 2005

Содержание

Введение.....	3
1. Краткий анализ уровня качества ремонта тракторов, отремонтированных в ЦРМ сельхозпредприятий и в специализированных ремонтных предприятиях.....	5
1.1. Ресурс дизельных двигателей тракторов после капитального ремонта	5
1.2. Отличительные особенности в динамике изменений зазоров в ресурсных сопряжениях новых и капитально отремонтированных дизельных двигателей	8
1.3. Ресурс трансмиссий тракторов, основные дефекты деталей и традиционные способы восстановления ресурсных сопряжений.....	11
2. Краткая характеристика наноматериалов для безразборного продления послеремонтного ресурса дизельных двигателей и агрегатов трансмиссий тракторов .	13
3. Методики исследований и выбора рациональных наноматериалов для продления послеремонтного ресурса сельхозтехники.....	19
3.1. Методика выбора нанопрепарата для эксплуатационной обкатки двигателей и агрегатов машин.....	22
3.2. Методика выбора нанопрепарата для начального послеремонтного периода эксплуатации тракторов.....	26
3.3. Методика выбора нанопрепарата для последующего послеремонтного периода эксплуатации тракторов.....	31
4. Методика проверки эффективности наноматериала «Wagner» при помощи стендовых испытаний дизельного двигателя Д-240	33
5. Методика проверки эффективности наноматериалов «Wagner» при помощи стендовых испытаний коробки передач трактора Т-170 и трансмиссии трактора РТ-М-160 производства ОАО «НПК Уралвагонзавод»	35
6. Результаты исследований и их обсуждение.....	37
6.1. Лабораторные триботехнические исследования и рекомендации по выбору наноматериалов для продления ресурса машин	37
6.1.1. Рекомендации по выбору наноматериалов для послеремонтной эксплуатационной обкатки сельхозтехники	37
6.1.2. Рекомендации по выбору наноматериала для продления ресурса и экономии дизельного топлива в начальный послеремонтный период штатной эксплуатации сельхозтехники.....	41
6.1.3. Рекомендации по выбору наноматериала для продления ресурса в последующий послеремонтный период штатной эксплуатации сельхозтехники	46
6.2. Результаты проверки эффективности нанопрепаратов фирмы «Wagner» при испытании дизельного двигателя Д-240 на стенде	48

6.3. Результаты проверки эффективности нанопрепарата фирмы «Wagner» при испытании коробки передач трактора Т-170 и трансмиссии трактора РТ-М-160..	52
7. Мониторинг результатов проверки эффективности применения наноматериалов по продлению послеремонтного ресурса машин в условиях рядовой эксплуатации	54
8. Экономическая оценка применения наноматериалов	55
9. Технологическая инструкция по применению ремонтно-восстановительного состава для продления ресурса дизельных двигателей тракторов	56
Литература	63