Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Факультет «Автотракторный»
Кафедра «Автомобильный транспорт»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
профессор
_____ Ю.В. Рождественский
24.06.17 2017 г.

Исследование влияния геомодификатора трения на противоизносные свойства трансмиссионных масел

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 23.03.03.2017.137.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы, доцент
_____ И.Г. Леванов
_____ 2017 г.

Автор работы
студент группы П-416
_____С.В. Нагорный
_____ 2017 г.

Нормоконтролер, доцент
_____ А.А. Дойкин
24. 06. 2017 г.

Челябинск 2017

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 2

1 ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ ПРИСАДКИ 3

1.1 Статистические показатели применения масел 3

1.2 Трансмиссионные масла 5

1.3 Характеристики трансмиссионных масел 8

1.4 Работа противоизносных присадок 9

1.5 Добавки и присадки к маслам 11

1.7 Геомодификаторы трения 17

1.8 ЧМТ-1 27

1.9 Используемые масла в ходе проведения исследования 29

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМОДИФИКАТОРА ТРЕНИЯ 32

2.1 Методика испытания 35

3. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ 37

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 39

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 40

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, в условиях постоянного технического развития современного общества, перед человечеством стоит вопрос о совершенствовании эксплуатации машин и механизмов. Что в последующем делает выводы об экономической целесообразности их использования, рентабельности их участия в производственном процессе. Благодаря совершенствованию технологического развития выдвигается ряд задач, а именно: снижение стоимости эксплуатации; снижение отказов рабочих механизмов из-за износа узлов и деталей. Решение раскрытия данных задач кроется в следующих вариантах: внедрение более доработанных конструкций в ряд узлов и агрегатов; создание специализированных присадок к смазочным материалам, влияющие на свойства поверхности трения. С учетом развития химической отрасли технологий, второй вариант является наиболее высокоперспективным, и стоит отметить факт роста многообразия смазочных материалов.

Целью выпускной квалификационной работы является: исследовать влияние геомодификатора трения на противоизносные свойства трансмиссионных масел.

Задачи квалификационной работы:

1. Выполнить обзор существующих противоизносных присадок различного рода существующих масел.
2. Осуществить экспериментальные исследования присадок
3. Сделать соответствующие выводы о влиянии геомодификатора трения

1 ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ ПРИСАДКИ

1.1 Статистические показатели применения масел

Существует тенденция разделение масел по двум специализированным группам: автомобильные и индустриальные. В свою очередь индустриальные подразделяются на специальные продукты и масла. К специальным продуктам относят пластичные смазочно-охлаждающие жидкости, пленочные вещества обладающие свойствами смазочного покрытия, пластичные смазки. Технологические масла – выступающие основой в изготовлении синтетического каучука, а также сырья для производства различных процессов. По статистическим данным, приводимым на 2004 год, общее потребление смазочных материалов в мире составило 37,4 млн т (54% - автомобильные, 33% - индустриальные, включая 11% - технологические, 6% - судовые масла). В 2016 году, специалистами аналитического агентства «АВТОСТАТ» было проведено исследование статистики российского рынка моторных масел для легкового транспорта, графически оно показана на рисунке 1.1 и 1.2, в ходе которого, была определена потребность в использовании смазочных продуктов по федеральным округам России. По результатам конечной обработки исследования, была выявлена потребность в использовании моторных масел, по состоянию на 1 января 2016 года, в объеме 230 млн литров. Так как на европейскую часть России приходиться весомая часть преобладания местного парка, то 75% объема, приходится именно на эту часть страны. 30% от всей потребности в моторных маслах для легковых автомобилей приходится на долю Центрального ФО, с преобладанием самого большого парка автотранспорта в стране. В количественном выражении это надлежит объему 72 млн литров. На Приволжский ФО – приходится пятая часть от общей потребности, а именно 46 млн литров. Похожий показатель у Северо-Западного ФО приблизительно в двое меньше и практически совпадаем с Сибирским ФО (почти более 25 млн литров). В Уральском и Южном федеральных округах, соответственно 21 и 21,8 млн литров. Меньше всего выявлено на Дальнем Востоке (7,7 млн л) и на Северном Кавказе (11,1 млн л) [1].

Рисунок 1.1- Потребность легкового автотранспорта в моторных маслах по ФО

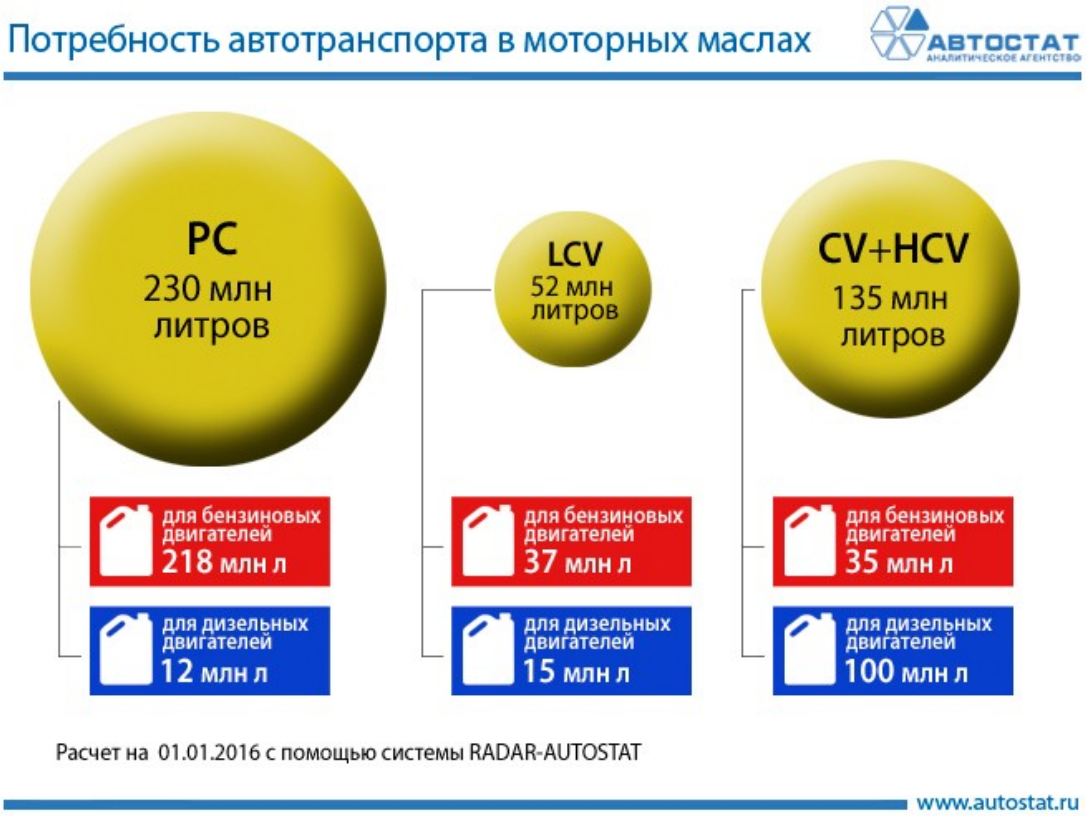

Рисунок 1.2 - Потребность автотранспорта в моторных маслах

1.2 Трансмиссионные масла

Трансмиссионные масла нашли свое применение в области смазывания зубчатых передач, иначе говоря трансмиссии автомобиля: раздаточной коробке, коробке передач; рулевых передачах; ведущих мостах [2]. Группы трансмиссионных масел представлены на рисунке 1.3

Передача	Применяемые масла
Коробки передач, отбора мощности, раздаточные коробки и т.д.	Трансмиссионные масла с противоизносными, антиокислительными и друие функциональными присадками
Ведущие мосты с гипоидной главной передачей	Гипоидное масло
Ведущие мосты с червячной главной передачей	Трансмиссионные масла с эффективной противоизносной присадкой, не коррозирующей бронзу
Ведущие мосты с дифференциалами ограниченного проскальзывания	Трансмиссионное или гипоидное масло с повышенными фрикционными свойствами
Гидромеханические передачи	Масло для гидромеханических передач (*ATF*)
Гидрообъёмные передачи	Масло для гидрообъёмных передач

Рисунок 1.3 - Группы трансмиссионных масел для различных передач в агрегатах трансмиссии транспортных машин

Международные системы классификации трансмиссионных масел, так же получили свое широкое распространение, на ряду с моторными маслами. API – по эксплуатационным свойствам, SAE – по вязкости. Согласно квалификации последней, трансмиссии делятся по вязкости на 6 классов (75W, 80W, 85W, 90, 140, 250), W–индекс обозначающий зимний период эксплуатации. Если в обозначении указывается 2 класса вязкости через дефис, значит, что масло является всесезонным. По классификации APIмасла разделяют по типу и на 7 групп (GL-1, GL-2, GL-3, GL-4, GL-5, MT-1) в зависимости от степени нагруженности зубчатых передач [3]. Примерное соответствие отечественных и зарубежных масел можно увидеть на рисунке 1.4.

Класс вязкости		Группа	
ГОСТ 17479.2–85	SAE I 306 C	ГОСТ 17479.2–85	по API
9	75W	ТМ – 1	GL – 1
12	80W/85W	ТМ – 2	GL – 2
18	90	ТМ – 3	GL – 3
34	140	ТМ – 4	GL – 4
		ТМ – 5	GL – 5

Рисунок 1.4 - Соответствие трансмиссионных масел по ГОСТ 17479.82-85 классификациям SAE1306C и API

Большинство российских нефтеперерабатывающих предприятий, выпускают трансмиссионные масла под своим торговым брендом в соответствии с собственными техническими условиями, помимо масел изготавливаемых по ГОСТ. Для такого рода производства, предприятие в должном порядке, установленном законодательством РФ, должно оформить допуск к производству и применению. Выпускаемая товарная продукция, обозначается с учётом ГОСТ, APIи SAE, кроме товарного бренда [4].

Основное предназначение трансмиссионных масел состоит в следующем:

- снижение потери энергии на внешнее трение;
- уменьшение износа деталей;
- предохранение механизмов и деталей от коррозии;
- увеличение теплоотвода от трущихся поверхностей.

Так же, стоит выделить условия работы масла, они определяются такими факторами как:

- удельное давление в зоне контакта;
- температурный режим;
- частота вращения шестерен (скоростью относительного скольжения трущихся поверхностей) .

Удельные нагрузки в зоне зацепления цилиндрических и конических передач составляют 0,5 - 1,5 ГПа, достигая в некоторых случаях 2 ГПа. В отличии от цилиндрических и конических передач, в гипоидных удельные нагрузки в зоне заце-

пления в 2 раза выше. В результате действия таких нагрузок, условия работы гидродинамической смазки ухудшаются [5].

В температурном режиме существуют характерные температуры: минимальная – равная наиболее низкой температуре окружающей среды, в начальный момент работы передачи; максимальная – соответствует самым критическим условиям работы; среднеэксплуатационная – наиболее вероятно прогнозируемая, во время процесса работы агрегатов. Рабочей температурой масла в агрегатах и узлах трансмиссии является широкий предел – в начале работы, от температуры окружающего воздуха доходящий до 150 ◦С в процессе работы. В условиях холодных климатических зон минимальная температура масла в агрегатах трансмиссии автомобилей может достигать до -60 ◦С. Максимальная и среднеэксплуатационная температура масла находится в зависимости от температуры воздуха окружающей среды, условий эксплуатации, вязкости масла и прочих факторах. Диапазон 60 – 90 ◦С является среднеэксплуатационной температурой в агрегатах трансмиссии.

Скорость скольжения на поверхности зубьев в зоне их контакта оказывает существенное влияние на температуру. В цилиндрических и конических передачах скорости скольжения на входе в зацепление составляют 1,5 - 3 м/с. В некоторых случаях они доходят до 9 - 12 м/с. Скорости скольжения гипоидных передач достигают 15 м/с и более [6].

1.3 Характеристики трансмиссионных масел

Основными характеристиками трансмиссионных масел является:

- Наличие присадок усиливающих высокие противоизносные, противопиттинговые и противозадирные свойства;
- Способность защиты смазываемых поверхностей от коррозионного воздействия агрессивных веществ;
- Хорошая термоокислительная и термическая стабильность;
- Стойкость к возникновению пенообразования;
- Способность не оказывать деформационных воздействий на уплотнительные материалы;
- Обладание сравнительно малой вязкостью в области холодных климатических зон с преобладанием отрицательных температур;
- Высокая физическая стабильность в условиях продолжительного использования и длительного пребывания в состоянии хранения. (мотор. и тр. масла) [7].

1.4 Работа противоизносных присадок

Ответственная техническая задача, состоит в повышении срока службы трансмиссии, экономии горюче-смазочных материалов. Решающим фактором при этом является износостойкость сопряжений, которая находится в зависимой связи с характеристикой металлофизических поверхностей трения, но и прежде всего от свойств используемых смазочных материалов. Одним из современных направлений повышения износостойкости взаимодействия смазочного материала и поверхности трения, является формирование пленок, путем разработки и добавления антифрикционных и противоизносных присадок в масла. Оптимизация условий эксплуатации, правильный подбор смазочных материалов, материалов по трению и износостойкости, приведет к решению проблемы выхода из строя трибообъектов, человек сможет управлять трением в свою пользу [8].

С целью предотвращения роста износа узлов и агрегатов трансмиссии, влияющего в дальнейшем на работоспособность, производители трансмиссионных масел решают эту проблему, путем добавления к маслу специализированных присадок. Противоизносные присадки – их основное назначение состоит в защите трущихся поверхностей от непосредственного контакта друг с другом, тем самым препятствуя их износу и повреждению. Работа противоизносных присадок состоит в их адсорбции на металлических поверхностях трения деталей и возникновении химической активности, образуемых присадками на поверхностях граничных слоев. В состав таких присадок входят поверхностно-активные вещества, к ним можно отнести растительные и животные жиры, масла жирных кислот, жирные кислоты и эфиры. Применение специальных присадок к трансмиссионным маслам в полной мере сможет удовлетворить постоянно развивающиеся технические требования к конструкции современных автомобилей, а также обеспечить их продолжительную работу в тяжелых условиях эксплуатации. Позволит уменьшить шумность механической коробки переключения передач; улучшить переключение; сохранить работоспособность при пробое масляного картера; снизить износ трущихся поверхностей деталей, а главное увеличить ресурс работы коробки пе-

редач. Введение специальных ремонтно-восстановительных составов на основе различного рода присадок, в систему смазки мостов, позволяет дополнительно обеспечить частичное восстановление зазоров и размеров пятна контакта в зубчатых зацеплениях редукторов мостов [9].

1.5 Добавки и присадки к маслам

В существующей технической литературе, как такового определения понятия «добавка» или «присадка» нет. Малорастворимые органические продукты, обычно называют присадками. В большинстве своем, они составляют распространенную группу веществ. Вещества неорганического происхождения, в твердом состоянии, называют антифрикционными добавками. Но и под этот же термин «добавки» попадают компоненты, которые вносят для улучшения моющих свойств масел, их в свою очередь называют моющими добавками, но не присадками. Модификаторы – именуют полимеросодержащие вещества, на основе серпентина. Поэтому стоит разграничить понятия о «добавках» и «присадках», так как первое, отличается от второго тем, что оно подразумевает собой комплекс определенных соединений, добавляемых в масла на стадии их эксплуатации (в масло, находящееся в работе).

Добавки к работающим маслам, используются для:

- улучшения моющих свойств, вязкости;
- восстановления свойств отработанного масла и продления его ресурса;
- в качестве ремонтно-восстановительного средства изношенных деталей;
- устранения технических недостатков, чрезмерная шумность при работе, повышенный угар масла и т.д;
- профилактики против износа смазываемых деталей.

Можно отметить, что современные добавки в большинстве своем, предназначены для работы с трансмиссионными и моторными маслами. Антифрикционные добавки на основе молибдена и его соединений, наиболее изучены и имеют массовое применение в производстве.

Добавки должны хорошо растворяться в смазочных материалах, обладать малой летучестью и не испаряться из них при хранении и эксплуатации в широком диапазоне температур; не вымываться водой и не подвергаться гидролизу; не взаимодействовать с конструкционными материалами, контактирующими со смазочными (за исключением случаев, когда такие реакции лежат в основе механизма

действия самих добавок); сохранять свои функции в присутствии иных добавок и не оказывать на них депрессивного действия [10]. Но стоит не забывать о том, что попытки необоснованного увеличения сроков замены смазочного материала не могут положительно отразиться на работе узлов и агрегатов. Повышенную работоспособность смазке можно придать только с помощью периодических мероприятий по контролю качества масла, и применению специальных присадок.

Дисульфид молибденаобладает уникальной структурой среди слоистых смазочных материалов. Его высокие смазочные способности лежат в химической природе реакции с металлом подложки смазываемой поверхности. Дисульфид молибдена усиливает свойства износостойкости образование смазочной пленки, образующуюся на поверхностях пар трения, благодаря образованию сульфидов железа, в ходе химической реакции.

Так же, особое место в роли добавки в моторное масло занимают препараты содержащие в своей основе алмазную пыль, с размерами частиц в доли микрона. Они считаются обкаточными, применение допустимо после выполненного капитального ремонта, с условием добавление в масло, не более чем один раз. Принцип действия добавки, состоит в том, что она внедряется в микронеровности напряженных участков пар трения, замедляя естественный износ, при этом не оказывая абразивного воздействия.

По мнению большинства производителей, их выпускаемые добавки в целом, работают по единой системе, представляющей собой четкий план действий. В ходе которые активные вещества выпускаемых добавок «утилизируют» продукты деструкции смазочных материалов, превращая их в фазы углерода, а так же формируют сервовитный слой из атомарно чистого железа. Таким образом, что используемая добавка формирует слоистую структуру чистого железа в алмазоподобном состоянии. В результате пары трения взаимодействуют через тонкий и мягкий сервовитный слой, при этом сопряжённые детали переносят лишь упругие деформации, что в последующем приводит к уменьшению интенсивности изнашивания. Использована такая присадка может во всех областях взаимодействия с парами трения, она совместима со всеми существующими видами горюче-

смазочными материалами, замедляет процесс старения используемых масел, подавляет эффект водородного изнашивания металла в зоне трения – всё вышеперечисленное является заявлением разработчиков российской компании ФЕНОМ.

Существующий рынок «присадок» и «добавок» на сегодня, огромен, своим разнообразным составом и назначений для различных узлов и агрегатов, некоторые товары представлены на рисунке 1.5 [11]. Характеристики существующих добавок к ГСМ изображены на рисунке 1.6.

Рисунок 1.5 - Ассортимент существующих «добавок» и «присадок»

Показатели	Модификаторы трения «STP Diesel oil treatment»	Кондиционеры металла	Реметаллизанты, РВС			
		«FENOM»	RVS-гель	«Ресурс»	«РиМЕТ-Т»	«Хадо»
Изготовитель	Фирма STP, США	Лаборатория триботехнологии, г. Москва	RVS Technolody, г. Москва	НПК «ВМПАВТО», г. С.-Петербург	НПП «ВМП» г. Екатеринбург	ООО «Хадо» г. Харьков
Назначение	Сбалансированный комплекс добавок к дизельному маслу	Снижает интенсивность изнашивания трущихся поверхностей, повышает ресурс узлов и механизмов двигателей и трансмиссий	Для восстановления подшипников	Для защиты от износа и восстановления ДВС	Для защиты от износа и восстановления трансмиссий	Для восстановления, ремонта и защиты от износа узлов трансмиссии
Содержание упаковки	300 мл	125 мл	–	50 г	50 мл	9 мл
Концентрация в масле	до 5 %	30…40 мл на 1 л (3…4 %)	1 : 20 (5 %)	1 уп. на 5–6 л (1 %)	1 б. на 1 л (5 %)	1 т. на 1…2 л (~ 1 %)
Воздействие	Улучшает эксплуатационные качества масла и увеличивает ресурс двигателя	Формирует слоистую структуру из атомарно чистого железа и фаз углерода в алмазоподобном состоянии	Формирует МКЗС	Формирует на поверхности пористую металлическую структуру	Наращивает на поверхности пленку тяжелых металлов	Формирует металлокерамическое покрытие
Состав	Антифрикционные, очищающие, повышающие вязкость, антикоррозионные препараты, нейтрализаторы кислот и другие компоненты	Синтетические углеводородные компоненты, антиоксиданты	Мелкодисперсная многокомпонентная смесь минералов, добавки катализаторов	Ультрадисперсная композиция из сплава меди, олова, серебра и других металлов	Мелкодисперсная смесь металлов в тефлоновой оболочке (Cu, Aq, Sn)	Мелкодисперсная смесь минералов с добавками катализаторов

Рисунок – 1.6 Характеристики добавок к смазочным материалам

Условно препараты подразделяют:

- кондиционеры металла, воздействуют непосредственно на металл трущихся поверхностей, снижают трение и износ, защищает от задиров, путем образования защитного слоя, способны обеспечивать стойкий противоизносный эффект при возникновении масляного голодания в случае его утечки, более приоритетны в использовании у ряда простых автолюбителей, так как в ходе использования решаются задачи по одновременному снижению трения и износа узлов транспортного средства, а путем снижения износа увеличить их ресурс;

- модификаторы трения, в своем составе содержат мелкодисперсные частицы и формируют на поверхностях трения защитные пленки, снижают трение, но не предоставляют полноценной защиты от изнашивания трущихся пар;

- реметаллизанты, или ремонтно-восстановительные составы, наращивают вместо изношенного металла пар трения машин, представляют собой многокомпонентные мелкодисперсные системы природных материалов, способных образовывать с поверхностным слоем металла в местах трения восстановительный защитный слой [12].

Современное производство масел насыщено большим количеством добавляемых в них препаратов, по характеру действия на локальные зоны трения их можно разделить на три представленные группы:

1. препараты, использующие принцип переноса мелкодисперсных частиц на контактирующие пары трения;

2. модификаторы с поверхностно активными веществами, позволяющие организовать новые соединения из продуктов износа, основного материала и имеющейся смазочной среды;

3. Препараты, обладающие комплексным энергетическим воздействием, позволяющие не только регулировать (уменьшать) трение в зоне контакта, но и восстанавливать (залечивать) поверхностные микродефекты и выравнивать геометрический износ контактирующих поверхностей трения.

Антифрикционные препараты — мощное «лекарство» для механизма, однако его применение требует соответствующей методики и дозировки, зависящей от исходного состояния объекта, его применения, типа, рабочего объёма смазочного материала, степени износа [13]. Процесс применения препаратов нельзя пускать бесконтрольно, в большинстве случаев необходимо проводить под наблюдением опытного специалиста с постоянной диагностикой и мониторингом процесса. Наиболее широко на российском рынке антифрикционных препаратов (АП) представлены препараты группы минеральных ремонтно- восстановительных составов на базе порошков серпентинита.

Действие ремонтно-восстановительных составов, содержащих минеральные присадки, базируется на уникальном действии порошка серпентинита (в русской минералогии — змеевика). Свойство серпентинита было открыто в СССР при бурении сверхглубоких скважин. При бурении горных слоев, насыщенных серпентинитом, было обнаружено, что ресурс режущих кромок бурового инструмента резко увеличивался. Дальнейшие исследования привели к гипотезе, согласно которой в зоне контакта бура с горной породой серпентинит разлагается, при этом в процессе сухого трения выделяется количество теплоты, достаточное для разогрева и размягчения металла и компонентов АП. При этом происходит внедрение в

его структуру микрочастиц минерала и образование композитной металлокерамической структуры (металл-минерал), обладающей высокой твёрдостью и износостойкостью. Детальный состав РВС – представляет собой мелкодисперсную, многокомпонентную смесь из минералов, разного рода химических добавок и катализаторов [14]. В ходе изготовления используются такие известные вещества, выступающие в роли геомодификаторов: нефрит; шунгит; серпентинит. Размер составляет 1…10 мкм. Стоит отметить, что РВС обладает высоким смазочным, и водоотталкивающим свойством, существенно снижает износ, а так же повышенные температуры в зоне трения, в шарнирах карданных валов, цепных передачах, этим самым, показывая наилучшие результаты в узлах трансмиссии.

1.7 Геомодификаторы трения

Геомодификаторы трения — ГМТ. Ремонтно-восстановительные препараты на базе минеральных порошков (геомодификаторы трения — ГМТ) один из перспективных на данный момент класс добавок в систему смазки автомобиля для повышения износостойкости ДВС. Действие РВС, содержащих минеральные присадки, базируется на уникальных свойствах порошка серпантивита (змеевика). Теоретические разработки в области классификации природных минералов, как модификаторов трения провел один из ведущих минерологов страны академик РАЕН, профессор В.В. Зуев . На основе разработанной им теории энергоплотности веществ он предложил использовать в качестве ГМТ целый ряд природных материалов, а также синтезировать искусственные кристаллы [15]. Поверхность поршневого кольца до и после обработки геомодификатором изображена на рисунке 1.7.

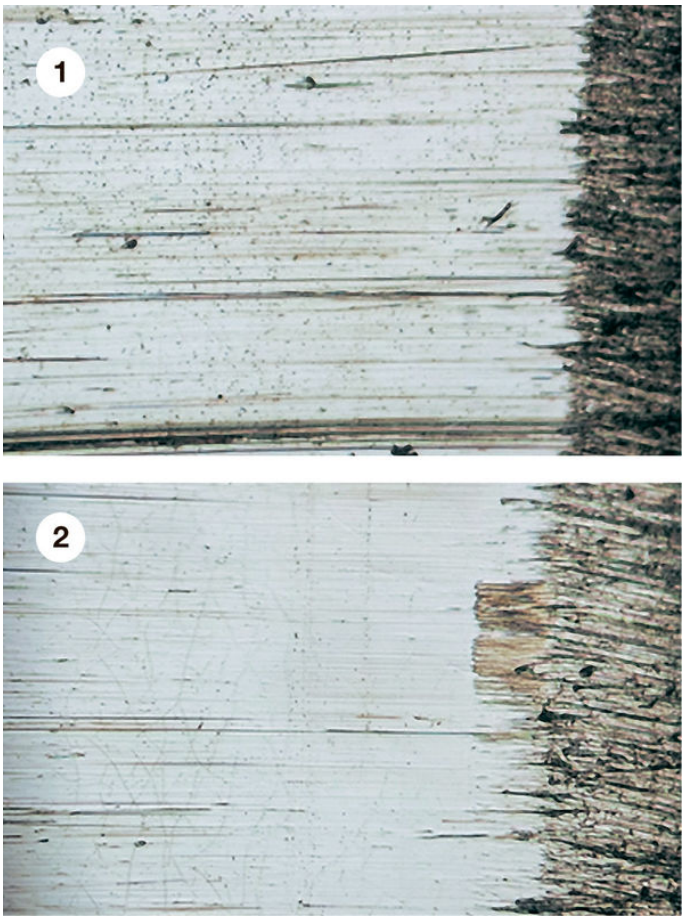

Рисунок 1.7 - Поверхность поршневого кольца до (1) и после (2) обработки геомодификатором

Геомодификаторы, попадая в зону трения, вносят структурные изменения в поверхность трения и способны модифицировать ее в триботехнически выгодном направлении. Принципиальное отличие ГМТ от других добавок заключается в том, что в триботехническую систему вносится вещество, инициирующие самоорганизующиеся процессы. Если остальные добавки направлены на разделение трущихся поверхностей третьим телом (мягкими металлами, длинными углеводородными цепочками, синтезированной пленкой), то ГМТ помогает триботехнической системе самой «определиться», какой должна быть структура поверхности, высота модифицированной структуры, шероховатость, волнистость и т.д. Эти сложные трибохимические процессы до конца не изучены, но ясно, что они зависят от целого ряда таких факторов, как режим работы узла трения (удельные нагрузки, скорость скольжения, цикличность), материалы пары трения, характеристики смазочного материала, характеристики геомодификаторов. Результатом этих процессов должен стать модифицированный слой, который отличается от исходного оптимальной волнистостью, шероховатостью, структурой с максимальным числом свободных связей, что обеспечивает значительно большую маслоудерживающую способность.

Основными преимуществами геомодификаторов трения являются:

- способность создавать динамические защитные пленки, образованные тонкодисперсными продуктами износа и самого геомодификатора в виде квазисжиженного слоя, что позволяет многократно снижать скорость изнашивания узлов трения;
- смещение характеристик ближе к гидродинамическому трению и, следовательно, снижение механических потерь;
- химическая, электрическая нейтральность и экологическая чистота природного продукта;
- при неизменном спектре режимов работы узла трения модифицированный слой сохраняется вплоть до термоциклического усталостного разрушения.

Наиболее отличительным свойством геомодификаторов трения является воз-

можность восстановления узлов трения двигателей, механизмов и устройств за счет инициирования самоорганизующихся трибопроцессов в направлении восстановления физических связей поверхностного слоя с тонкодисперсной средой основного материала в смазочной среде двигателей внутреннего сгорания, механизмов и устройств.

Геомодификаторы трения восстановливают узлы трения двигателей, механизмов и устройств за счет инициирования самоорганизующихся трибопроцессов в направлении восстановления физических связей поверхностного слоя с тонкодисперсной средой основного материала в смазочной среде двигателей внутреннего сгорания, механизмов и устройств.

Были проведены исследования на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 (ГОСТ 9490-75)[5]. В качестве СМ для испытаний использовалидва вида масел – И-40 и КС-19. Данные масла являются базовыми основами многих моторных масел. В исследовании сравнивали результаты, полученные при использовании окисленных и не окисленных смазочных материалов.

Для приготовления ГМТ использовали природный минерал – серпентин, добываемый в республике Башкортостан. Подготовка серпентина к применению включала в себя: предварительное удаление абразивных и фрикционных составляющих (намагничиванием); сушку в печи; домол частиц серпентина в ступке до размеров 10…20 мкм. Затем подготовленный серпентин тщательно перемешивали с имеющимися окисленными образцами СМ, соблюдая требуемую концентрацию. Образовалась суспензия – ремонтно-восстановительный состав (РВС). На основании проведенных лабораторных экспериментов определены оптимальные значения концентрации компонентов состава (масс. %): серпентин – 0,3; кристаллизатор $MnO2$ – 0,05; СМ остальное.

На основе исследований были сделаны следующие выводы: При работе пар трения с применением СМ без добавки не обнаружено образования металлокерамического покрытия (пленки) на поверхностях трения. При работе пар трения с применением ремонтно-восстановительного состава на основе окисленного СМ обнаружено снижение температуры смазочного материала и силы трения, сниже-

ние износа, увеличение веса ролика и обоймы, увеличение их микротвердости, а также работой пар трения без смазочного материала значительное время (после предварительной работы с использованием СМ с добавками ГМТ (РВС))[16]. Все это (а в особенности увеличение веса ролика и обоймы и их микротвердости) свидетельствует об образование металлокерамического покрытия (пленки), обладающего антифрикционными и противоизносными свойствами.

Можно сделать вывод, что при добавлении в окисленный СМ серпентина на железосодержащих поверхностях трения образуется самоорганизующееся защитное металлокерамическое покрытие (пленка) характерное для избирательного переноса (эффекта безызносности). Наибольшую работоспособность трибосопряжений обеспечивает следующий ремонтно-восстановительный состав: масло КС-19 окисленное + серпентин (0,3 %) + MnO2 (0,05 %).

Касаемо опыта исследования присадок в области моторных масел можно отметить следующее. Доцентом кафедры двигателей внутреннего сгорания Санкт-Петербургского университета, к.т.н. Александром Шабановым – были проведены многочисленные исследования в области присадок и добавок, на основе которых можно сделать определенные выводы. Он задался вопросом о количестве сгораемого топлива, и топливе которое при своем сгорании, не несет никакой пользы, иначе говоря пропадает зря. Самыми совершенными и эффективными являются тяжелые малооборотные судовые дизели с цилиндрами больших диаметров, там из каждого литра топлива на пользу идет по 520-540 миллилитров. Остальное греет воздух, а также крутит насосы и агрегаты. Совсем небольшая часть (не больше 10-20 мл) не сгорает, а потому засоряет атмосферу. Чем миниатюрнее двигатель и чем обороты выше, тем меньше топлива идет на непосредственно его прямое назначение. В крупных мегаполисах, при перегруженности дорожной обстановки эффективная мощность, а также эффективный и механический КПД равны нулю, поскольку в заторах автомобиль движется с минимально возможной скоростью. При увеличении подачи топлива мощность растет, а с ней и оба КПД. Но механический КПД при номинальной частоте вращения коленчатого вала и полной нагрузке не поднимается выше 0,75 для высокооборотного двигателя и 0,90–

0,92 для малооборотного. А в среднем для автомобильного мотора в режимах городского цикла он составит 0,35–0,50. Получается, что не всё топливо поступающее в цилиндры сжигается, слишком много топлива расходуется на функционирование мотора, то есть на механические потери.

Основные пути повышения эффективности ДВС является повышение полноты сгорания и снижение непроизводительных потерь. Механические потери, которые приводят к значительному расходу топлива, состоят из нескольких слагаемых. Потери на привод механизма газораспределения, расходы на масляный и топливный насосы, помпу системы охлаждения, генератор и привод крыльчатки вентилятора, а также на мощность, необходимую для осуществления процесса газообмена - это так называемые насосные потери. Всё остальное (от 50 до 80%) — потери на преодоление сил трения в двигателе. Преодоление сил трения в двигателя – в этом и состоит задача триботехнических составов.

Трибосоставы сокращают зону граничного трения, что существенно уменьшает потери на трение в двигателе. Особо это заметно вблизи верхней мертвой точки, где поршень еле движется, а нагрузка на поршневые кольца очень велика. Графически это отображено на рисунке 1.8.

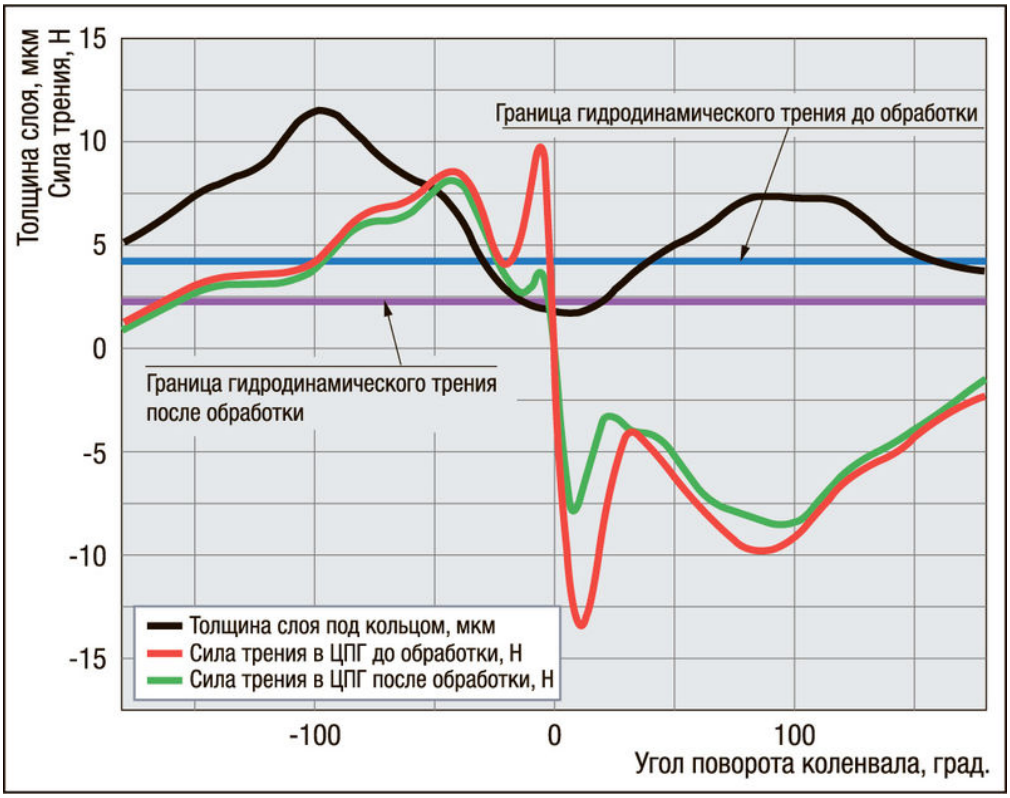

Рисунок 1.8 - Сокращение граничного слоя трения

Двигатель претерпевает трение трёх видов: сухое; граничное; гидродинамическое.

При сухом трении две шероховатые поверхности взаимодействуют друг с другом без смазочного материала. Это представляется возможным, когда смазочная система еще не работает, то есть в пусковых режимах после длинного простоя.

При граничном трении, между поверхностями имеются следы масла, но толщина разделяющего слоя мала для формирования устойчивой пленки. Это осуществимо при низкой частоте вращения коленчатого вала и высокой нагрузке. Если нагрузки на узлы трения увеличены, а масло имеет достаточно высокие температуры [17].

Основной вид трения – гидродинамическое, поверхности деталей разделены устойчивой масляной пленкой.

При сухом трении его сила может достигать 20–40% внешней нагрузки, при граничном — 5–15%, а при гидродинамическом падает до долей процента. Очевидно, что для экономии отличная альтернатива - заставить работать в гидродинамическом режиме все пары. Для этого оптимизируют форму деталей и выбирают подходящие масла. Также можно уменьшить суммарную шероховатость поверхностей и снизить коэффициенты трения на них, тогда и зона гидродинамического трения расширится. Особенно это важно при малых частотах вращения коленчатого вала, когда нет условий для формирования достаточного разделяющего слоя, и в режимах максимальных нагрузок, когда слой «просаживается» мощными контактными давлениями.

Итог обработки трибосоставомпредставлен на рисунке 1.9 — общее снижение момента (а значит, и мощности) трения в моторе. Двигатель ВАЗ-2112, пробег до обработки — 110 тысяч километров.

Работа трибосоставов зависит от их химически составляющих веществ. Основные механизмы работы: микрошлифовка; металлоплакирующие составы; плакирование слоистыми модификаторами или полимерами.

Микрошлифовка. Наиболее эффективный по воздействию на поверхности трения трибосостав построен на базе геомодификаторов трения — минеральных порошков особого состава, которые при формировании защитного слоя шлифуют рабочие поверхности узлов трения, уменьшая высоту микронеровностей в два-три раза. При этом на 15–20% увеличивается твердость поверхностных слоев пар трения. А это означает рост износостойкости поверхностей — твердость с ней коррелирует очень четко.

Металлоплакирующие составы укрывают шероховатую поверхность новым микрослоем, состоящим из мягких металлов (чаще всего из меди), при этом шероховатость тоже резко падает. Уменьшается и коэффициент трения. Но при этом снижается твердость. Компенсация износа мягкого защитного слоя будет происходить, только когда в масле достаточно определенного материала - той же меди. Поэтому использование таких составов требует регулярного ввода их в масло, как минимум при каждой его смене.

Плакирование слоистыми модификаторами или полимерами. Это отдельная группа составов, которые содержат вещества (например, графит, дисульфид молибдена, тефлон), чье внедрение в поверхностные слои узлов двигателя резко снижает коэффициент трения. Удаление отложений. Большинство трибосоставов при вводе в двигатель начинают его активно мыть, удалять отложения в зонах трения. В частности, это улучшает подвижность поршневых колец, их прилегаемость к зеркалу цилиндра.

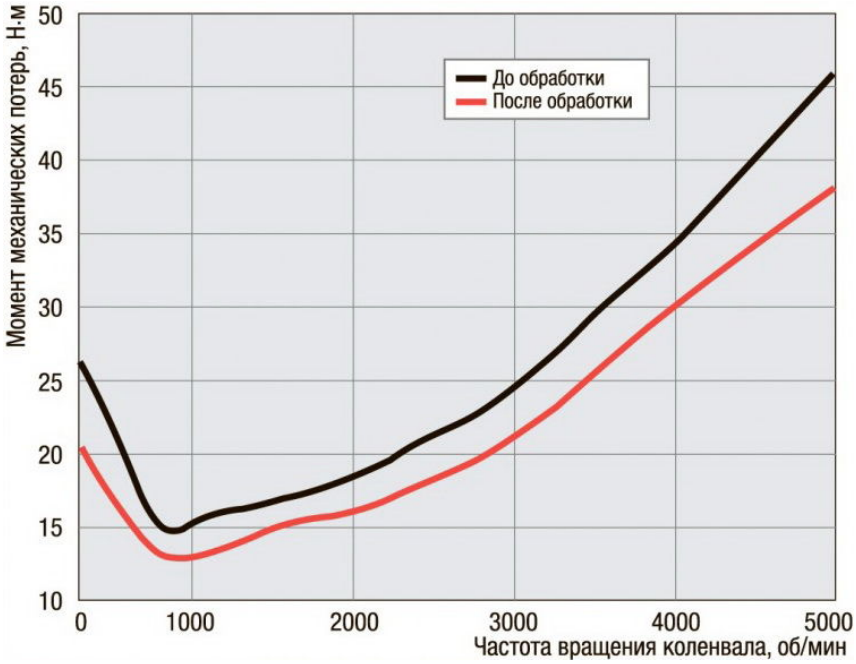

Рисунок 1.9 - Итог обработки двигателя трибосоставом

Удаление царапин -один из важных аспектов воздействия трибологических составов на процессы трения. Они способны «залечивать» рабочие поверхности.

В процессе жизненного цикла на поверхностях вкладышей подшипников, шеек коленчатого вала, цилиндров и поршневых колец образуются продольные царапины, сколы антифрикционного слоя, раковины. Глубина этих дефектов обычно существенно превышает рабочую толщину масляной пленки. Но в результате обработки двигателя трибосоставом дефекты зашлифовываются или плакируются. При этом восстанавливается несущая способность подшипников, что также снижает механические потери, особенно у двигателей с большими пробегами.

Результаты замеров микротвердости поверхности коренной шейки коленчатого вала изношенного двигателя до и после его обработки трибосоставом на базе геомодификаторов трения (ГМТ) представлены на рисунке 1.10. Снижение твердости до обработки — свидетельство срабатывания упрочненного слоя, то есть износа. Две последовательные обработки трибосоставом постепенно ее восстанавливают — формируется упрочненный слой, который обеспечивает еще и значительно меньший коэффициент трения. Увеличения размера шейки при этом не наблюдается.

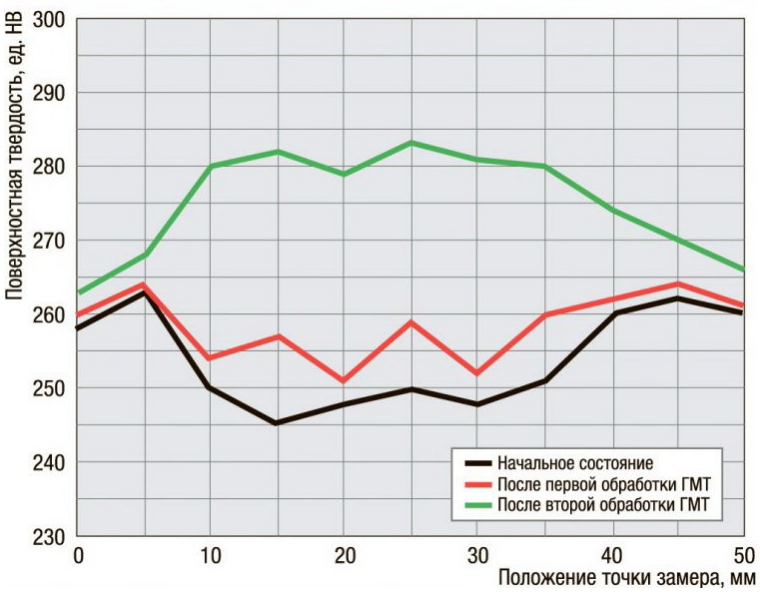

Рисунок 1.10 - Результаты замеров микротвердости поверхности коренной шейки коленчатого вала

Максимальный эффект обработки двигателя трибосоставами проявляется на холостом ходу, когда вся вырабатываемая при сгорании энергия идет на механические потери, а также на малых оборотах и при номинальных нагрузках на двигатель. При средних нагрузках, характерных для шоссейного цикла езды, эффект менее заметен, так как давление масла высокое, обдув хороший, режим работы относительно стабильный.

Результаты замеров компрессии в цилиндрах двигателя до и после обработки трибосоставом на базе ГМТ изображены на рисунке 1.11, и показывают, что уплотнение камер сгорания улучшилось. Это следствие улучшения прилегания колец к цилиндрам и повышения их подвижности.

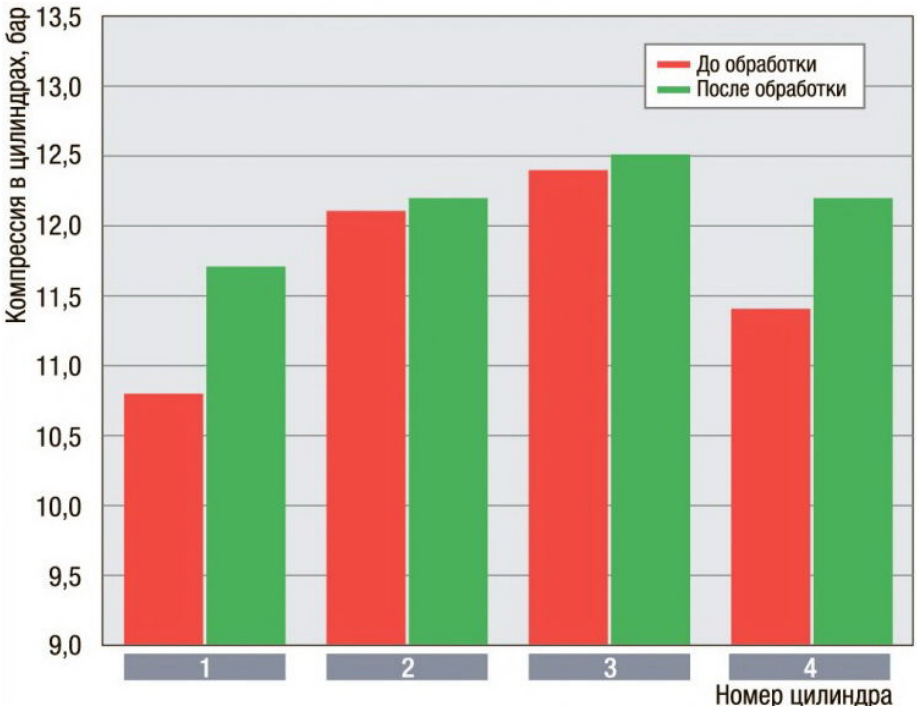

Рисунок 1.11- Результаты замеров компрессии в цилиндрах двигателя до и после обработки трибосоставом

Трибосоставы играют особую роль там, где доля механических потерь сильнее всего влияет на КПД, то есть на холостой ход. Обороты минимальны, двигатель работает в режиме преимущественно граничного трения. Допустим, что обработка трибосоставом снизила коэффициенты трения в полтора раза.При снижении коэффициента трения в полтора раза, в результате обработки трибосоставом, доля потерь на трение в общем балансе механических потерь составляет 60%. Это означает, что суммарный ожидаемый эффект снижения расхода топлива в режиме холостого хода может составить до 20%. При расчете экономии расхода топлива для городского легкового автомобиля с атмосферным двигателем объемом 1,6 литра, она достигает 8%.

1.8 ЧМТ-1

Экспериментальная оценка противоизносных свойств различного рода смазочных материалов, осуществляется на четырехшариковой машине трения, при трении стали по различным материалам. Сущность метода использования четырехшариковой машины трения состоит в том, что верхним шаром установки в среде исследуемого смазочного материала, пятна износа вытираются на нижних шарах при определенных условиях, в дальнейшем измеряется износ поверхностей. Шарики закрепляют в шпиндель машины и в чашке для смазочного материала. Смазочный материал заливают так, чтобы шарики были полностью покрыты им. Затем чашку устанавливают в машину, плавно прилагают определенную нагрузку, и включают электродвигатель установки. За результат проведенных измерений, принимают среднеарифметическое значение трех нижних шариков. Комплексным результатом исследований являются значения параметров функции, аппроксимирующей зависимость интенсивности изнашивания от давления. После проведения ряда испытаний :

-На нижних шариках определяют средний диаметр пятна контакта;

- Вычисляют линейный износ нижнего шарика;

- Вычисляют интенсивность изнашивания для каждого участка ΔS;

- Рассчитываются значения средних давлений, при которых реализуется процесс изнашивания;

- Рассчитываются параметры линейной аппроксимизации;

- Оцениваются параметры линейной аппроксимизации с помощью доверительных интервалов.

Проверку технического состояния четырехшариковой машины, изображенной на рисунке 1.12, осуществляют не реже одного раза в год, а так же после проведения ремонтных работ.

Рисунок 1.12 - Четырехшариковая машина трения (ЧМТ-1)

1.9 Используемые масла в ходе проведения исследования

ТАД-17и - получают смешением остаточного и дистилляторного масел с введением многофункциональной и депресорной присадок. Масло обладает высокими эксплуатационными свойствами, является универсальным и может применяться в тяжелонагруженных цилиндрических, спирально-конических и гипоидных передачах грузовых и легковых автомобилей в умеренной и жаркой климатических зонах.

ТАД-17и идеально подходит для заливки в механические коробки передач. Смазочное вещество необходимо для корректной работы раздаточных коробок и ведущих мостов. Кроме того, жидкости используются в системах ручного управления транспортных средств.

Жидкость соответствует ГОСТ 23652-79, ТМ-5-18 (российская классификация). Если рассмотреть номенклатуру, то цифра 5 указывает на то, что продукт относится к группе 5. Она характеризуется противозадирными свойствами, это значит, что масло ТАД-17 представляет собой многофункциональную смазку. Продукт относится к классу вязкости 18.

По международной классификации продукт соответствует (API) GL-5. Он обеспечивает высокую работоспособность систем при температуре до -25°С. Жидкость хорошо работает при верхнем пределе температур 130-140°С.

Производят трансмиссионную смазку, смешивая остаточные и дисциллятные компоненты. В масло вводят депрессорную и серофосфоросодержащую присадку. Они отличаются многофункциональными свойствами. Именно по этой причине ТАД-17И характеризуется превосходными эксплуатационными свойствами. Дисциллятные компоненты получают, осуществляя фракционную перегонку мазута. Антипенные включения повышают качество продукта.

Менять жидкость можно каждые 60-80 тыс. км. ТАД-17 – трансмиссионное автомобильное дисциллятное масло. Комплексная присадка, которую производители добавляют в продукт, обозначается буквой И.

В качественном продукте механических примесей не должно быть. Массовая до-

ля серы в ТАД-17 составляет 1,9-2,3%. Зольность не более 0,3%. Температура вспышки не ниже 200°С в открытом тигле.

Поскольку жидкость относится к трансмиссионным маслам, то к ней предъявляются особые требования. Продукт эффективно снижает износ деталей, исключается вероятность их сваривания в местах соприкосновения.

Срок службы трансмиссии при добавлении этого масла существенно увеличивается, это возможно благодаря включению антизадирных присадок в масло. Жидкость, если рассмотреть спецификацию SAE, относится к 85W-90. Это термоустойчивый продукт, который эффективно снижает шум от работы системы. Смазочная жидкость не вспенивается и отлично защищает детали трансмиссии от коррозии [18].

ТСп-15К служит в качестве всесезонного масла для умеренной климатической зоны. Предназначено для тяжелонагруженных цилиндрических и спирально-конических передач, в том числе большегрузных автомобилей КрАЗ, КамАЗ, УралАЗ.

Изготовлено на основе минерального масла – продукта очистки, разделки и переработки высокосернистой нефти. В базовое масло вводят пакет специальных присадок, благодаря которым улучшаются эксплуатационные свойства. Масло препятствует задирам, уменьшает износ трущихся частей, покрывает детали антиокислительной пленкой, препятствующей контакту металла с кислородом. Кроме того, за счет присадок понижается температура застывания, что хорошо при низких температурах, а при высоких масло не вспенивается – еще одно положительное качество. Сера, как активный химический элемент, частично переходит из нефти-сырца в масло и становится компонентом, улучшающим антифрикционные свойства.

Согласно техническому описанию от производителей продукта, ТСп-15К – универсальное, всесезонное масло для коробки передач и главной передачи грузовых автомобилей типа КАМАЗ.

А также для смазывания тяжелонагруженных цилиндрических, конических и спирально-конических передач и агрегатов трансмиссии тракторов, сельскохозяй-

ственной и дорожно-строительной техники, где требуются масла уровня ТМ-3 (API GL-3).

По классификации API GL-3 масло ТСП-15к (ТМ-3-18) соответствует зарубежным стандартам: Shell; SpiraxEP 90WMobil,; MobilubeGX 90 BP; GearoilEP SAE 90 Esso; Gear oil EP 90.

Основные показатели трансмиссионных масел представлены на рисунке 1.13.

Показатель	ТСп-10	ТСп-15К	ТАП-15В	ТАД-17и
	ТУ 38.401809—90	ГОСТ 23652—79		
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	128	180	180	200
Температура застывания, °С, не выше	−40	−25	−20	−25
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,02	0,01	0,03	Отсутствует
Массовая доля воды, %	Следы			
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствуют		Отсутствуют	
Зольность, %,	—	—	—	Не более 0,3
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более	—	—	—	2,0

Рисунок 1.13 - Основные показатели трансмиссионных масел

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМОДИФИКАТОРА ТРЕНИЯ

В работе была использована твёрдосмазочная композиция «Звезда-5» на основе чистого серпентина, являющаяся дальнейшим развитием геомодификатора трения, описанного в [19]. Рисунок 1 показывает крупность чистого серпинтина, а рисунок 2.2 показывает химический состав. Измерения были выполнены с применением спектрометра HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA -950 в Институте химии твёрдого тела УрО РАН.

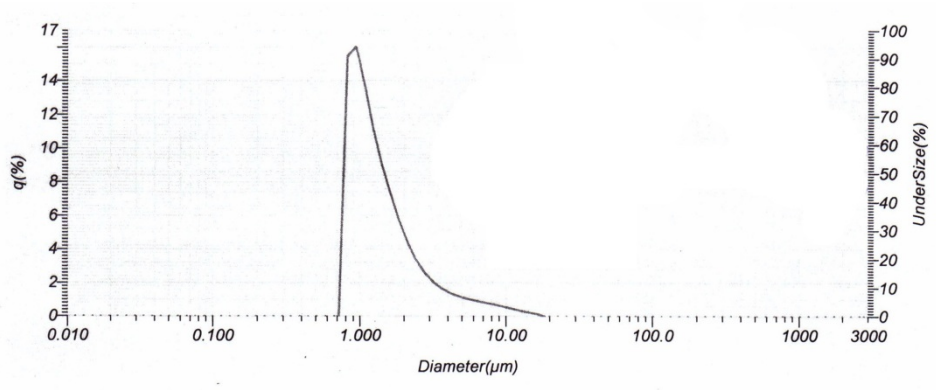

Рисунок 2.1 – Крупность серпентина

Из рисунка 1 видно, что 90% частиц имеют диаметр от 0,88 мкм до 3,5 мкм и 10% составляют частицы с диаметром от 3,5 мкм до 17,4 мкм.

	O	Mg	Si	Ca	Fe
Масса [%]	44.68	28.71	24.97	0.03	1.61
Atom [%]	57.09	24.14	18.17	0.02	0.59

Рисунок 2.2 – Химический состав серпентина

Для исследований были подготовлены смазочные композиции, состоящие из пластичной смазки Литол-24 с добавлением геомодификатора трения от 0,5% до

3% по массе, и из трансмиссионного масла ТАД-17 с добавлением геомодификатора трения от 1% до 3%. Выбор этих смазочных материалов обусловлен их широким применением. Литол-24 это антифрикционная многоцелевая водостойкая смазки, одна из самых распространённых России. Она применяется для основных узлов трения транспортных средств, промышленного оборудования и т.п. ТАД-17 универсальное, минеральное масло, содержащее многофункциональную серофосфоросодержащую, депрессорную и антипенную присадки. Оно применяется для смазывания зубчатых передач автомобилей, в том числе конических и гипоидных передач.

Противоизносные свойства смазочных материалов оценивали на четырёхшариковой машине трения ЧМТ-1 в соответствии с ГОСТ 9490-75.

Противоизносные свойства трансмиссионного масла ТАД-17 дополнительно были оценены в соответствии с методическими указаниями [20]. После обработки результатов измерений были построены зависимости интенсивности изнашивания от контактного давления для чистого масла ТАД-17 и для смазочной композиции ТАД-17 с добавлением 3% геомодификатора трения.

Смазочный композиции на основе пластичной смазки Литол-24 испытывались при нагрузке 196 Н, а смазочные композиции на основе трансмиссионного масла ТАД-17 испытывались при нагрузке 392 Н. Продолжительность испытаний составляла 1 час, температура начала испытаний 20 °С. После окончания испытаний с помощью микроскопа оценивалась величина диаметра пятна износа нижних шариков. Результаты измерений представлены на рисунках 2.3, 2.4, 2.5, 2.6.

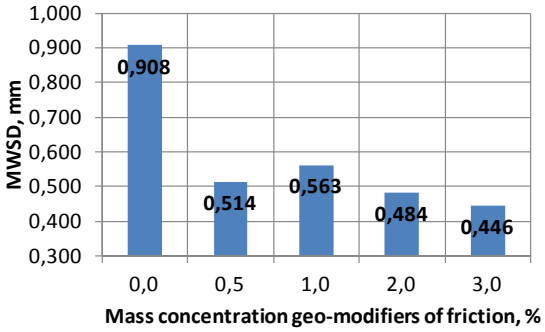

Рисунок 2.3 - Средний диаметр пятна контакта при различных концентрациях геомодификатора (смазка Litol-24)

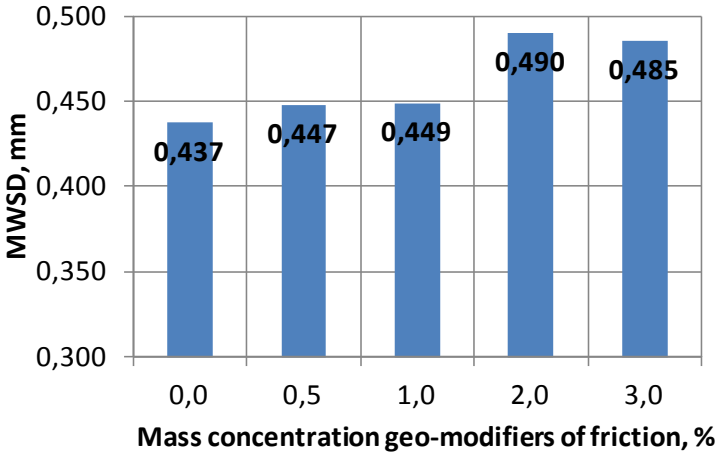

Рисунок 2.4 - Средний диаметр пятна контакта от износа в зависимости от концентрации геомодификатора (трансмиссионное масло ТАД-17)

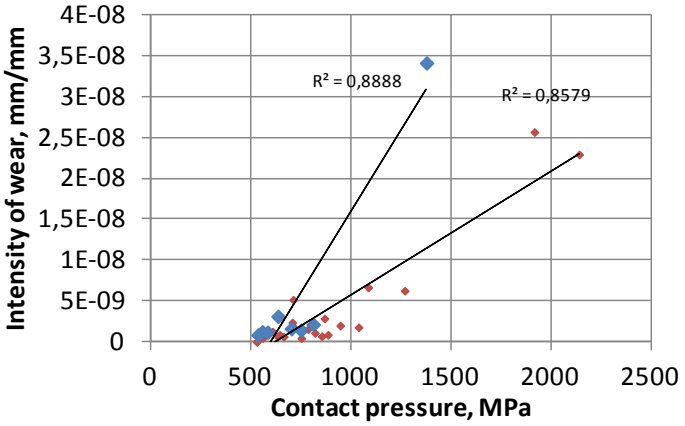

Рисунок 2.5 - Зависимость интенсивности изнашивания от контактного давления: 1 – масло ТАД-17; 2 - масло ТАД-17+3% геомодификатора трения

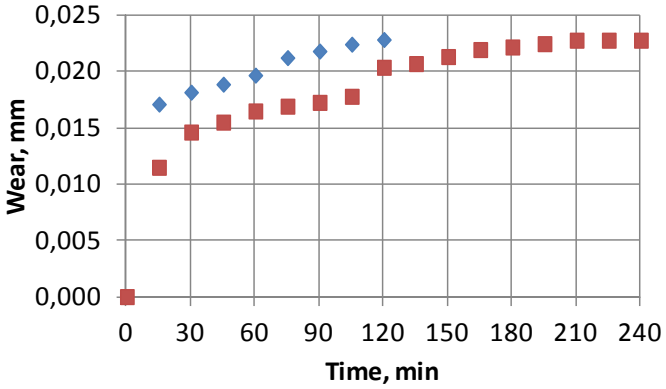

Рисунок 2.6 - Зависимость износа от времени: 1 – масло ТАД-17; 2 - масло ТАД-17+3% геомодификатора трения

2.1 Методика испытания

При проведении испытаний применяют четырехшариковую машину трения по ГОСТ 9490-75.

Образцы для испытаний должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9490-75. Испытания при температурах 150 °С и выше проводить на шариках из стали ЭИ-347.

Растворители для промывки (обезжиривания) шариков: бензин-растворитель для резиновой промышленности по ГОСТ 443-76 марки БР-1; ацетон по ГОСТ 2603-79.

Подготовка к испытаниям. Все детали машины, с которыми соприкасается смазочный материал во время испытания (чашка с деталями крепления нижних шариков, детали крепления внутреннего шарика в. шпинделе) промывают бензином и просушивают на воздухе.

Шарики, применяемые при проведении испытаний, последовательно промывают несколькими порциями бензина до тех пор, пока растворитель не будет прозрачным, затем промывают в ацетоне. После каждого растворителя шарики просушивают на воздухе.

Проведение испытания. Для проведения испытаний шарики, закрепляют: один - в шпинделе машины, а три - в чашке для смазочного материала.

В чашку с шариками вводят смазочный материал. При испытании жидкого смазочного материала его заливают так, чтобы нижние шарики были полностью покрыты им. При испытании пластичного смазочного материала его наносят шпателем, не допуская образования пустот. Устанавливают чашку со смазочным материалом, прилагают заданную нагрузку и включают электродвигатель. Нагрузку выбирают из ряда: 98, 196, 392, 588 Н (10, 20, 40, 60 кгс). Нагрузку испытания устанавливают не менее 20 кгс ниже критической нагрузки по ГОСТ 9490-75. При проведении испытания при повышенных температурах предварительно включают электроподогреватель. После достижения заданной температуры прилагают на-

грузку и включают электродвигатель. Выбор температуры производят из ряда 50, 75, 100, 150, 200 °С.

Испытание состоит из серии определений. Продолжительность всех определений каждого испытания должна быть одинаковой и выбирается из 2-х рядов продолжительностей

Второй ряд продолжительностей используется при экспрессных испытаниях. Общая продолжительность испытаний - 4 часа, что соответствует $8 \cdot 10^6$ мм пути верхнего шарика по диаметру трения.

Периодически, через интервалы времени и после охлаждения узла трения ниже 40 °С шарики в оправке очищают от смазочного материала ватным тампоном и измеряют диаметры пятен износа каждого из трех нижних шариков в направлении скольжения и перпендикулярно ему в плоскости, перпендикулярной оптической оси микроскопа.

После окончания измерения чашку с шариками без изменения положения шариков заполняют смазочным материалом и устанавливают в машину для проведения следующего определения.

Каждое испытание повторяют не менее двух раз с новыми шариками и новой порцией смазочного материала.

Обработка результатов. Для каждого определения вычисляют износ нижнего образца. Интенсивность изнашивания , достигнутую при каждом испытании. Вычисляют давление в МПа для каждого испытания. По данным испытаний графически строят зависимость интенсивности изнашивания от давления.

3. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Источниками опасности при подготовке машины к работе и ее эксплуатации являются:

- переменный трехфазный ток напряжением 380 В частотой 50 Гц;
- вращающиеся части машины (шпиндель с верхним шариком);
- корпуса деталей, нагретые до температуры 300 °С при соответствующих испытаниях.

Монтаж, наладку и эксплуатацию машины производят с соблюдением действующих «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ) и «Межотраслевых правил по охране труда» лица имеющие квалификационную группу не ниже III согласно ПТЭ и ПОТ, а также сдавшие экзамен на право монтажа и обслуживания машины.

Для безопасной работы корпус машины и корпуса применяемых измерительных приборов заземляют по ГОСТ 12.1.030-81. Место присоединения наружного заземляющего проводника (шины) тщательно зачищается. Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединяется машина, должно быть не более 4 Ом.

Эксплуатация машины разрешается только при закрытой стойке и опущенном защитном кожухе. Открывать стойку допускается только при отключении автомата защиты.

Наладку и техническое обслуживание механических устройств выполняют при полностью обесточенной машине и при вывешенных на электрощите предупредительных плакатах «Не включать!», «Работают люди».

Работы по наладке и техническому обслуживанию машины, выполняемые без снятия напряжения, проводят бригадой, состоящей не менее чем из двух человек, с применением основных защитных средств (диэлектрических ковриков, перчаток, бот). Применяют защитные средства с действующим клеймом проверки.

Запрещается проводить в машине доработки, замену деталей другими, изготовленными из материалов, отличающихся от рекомендованных чертежами без со-

гласования с разработчиком.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций, установленных ГОСТ 12.1.005-88.

Машина устанавливается в помещении лабораторий в месте, обеспечивающем удобство ее обслуживания. Машина устанавливается свободно, без закрепления, на пол помещения.

К месту установки машины должна быть подведена вытяжная вентиляция. Электрическая сеть питания машины должна быть рассчитана на потребляемую мощность не менее 4 кВ*А.

Корпус машины должен быть подсоединен к контуру защитного заземления с сопротивлением растекания тока не более 4 Ом.

Подготовка к работе машины заключается в сборке машины после транспортирования, проверке направления вращения шпинделя машины и проверке работоспособности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Геомодификатор трения на основе чистого серпентина с крупностью частиц от 0,88 мкм до 3,5 мкм существенно повышает противоизносные свойства пластиной смазки на литиевой основе Литол-24 начиная с малых концентраций. Диаметр пятна износа снижается на 26-50%.

2. Добавление геомодификатора трения на основе чистого серпинтина к трансимиссионному маслу ТАД-17 приводит к не существенному увеличению диаметра пятна износа от 2,3% до 12,0%. При этом контактные давления снижаются быстрее. Таким образом, следует ожидать сокращения времени приработки зубчатых передач и увеличения их общего ресурса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Защита персональных данных пользователей и сотрудников библиотеки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.autostat.ru.

2. Топлива, смазочныематериалы, техническиежидкости. Ассортимент и применение : справочник / В.М. Школьникови др. – М. : Издательский центр «ТЕХИНФОРМ», 1999. – 596 с.

3. Справочник автомобилиста - Автомобильные масла, смазки, присадки: И.П. Гнатченко, В.А. Бородин, В.Р. Репников. –М. : «Аст», 2000.-360 с.

4. Трансмиссионные масла: Лиханов В.А., Деветьяров Р.Р. Учебное пособие. - Киров: Вятская ГСХА, 2006. - 100 с.

5. Присадки к дизельным маслам и механизм их действия : статья / Ю.А. Микутенок, А.В. Шкаренко, В.Д. – Л. : Машиностроение, 1986.

6. Основы трибологии (трение, износ, смазка)/Э.Д. Браун, Н. А. Буше, И. А. Буяновский и др. /Под ред. А. В. Чичинадзе: Учебник для технических вузов. — М.: Центр «Наука и техника», 1995. — 778 с.

7. Топливо, масла, смазки, жидкости и материалы для эксплуатации и ремонта автомобилей: Грамолин А.В., Кузнецов А.С. - М.: Машиностроение, 1995. - 64 с.

8. Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник / А. Ф. Синельников, В. И. Балабанов. – М.: Издательство «За рулем», 2007. – 178 с.

9. Топливо и смазочные материалы /А. В. Кузнецов. **– М** .: КолосС, 2007. – 199 с.

10. Химический Энциклопедический Словарь. Гл. ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Советская энциклопедия, 1983. — 792 с.

11. Добавки к моторным маслам и топливу /А.Ю. Шабанов. – М.: Издательство «За рулем», 2015. – 75 с.

12. Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник / А. Ф. Синельников, В. И. Балабанов. – М.: Издательство «За рулем», 2007. – 178 с.

13. Все о присадках и добавках для автомобилиста / В. И. Балабанов. – М.: Изд – во «ЭКСМО», 2008. – 240 с.

14. Использования слоистых гидросиликатов в трибо-

сопряжениях/ Телух Д. М., Кузьмин В. Н., Усачев В. В. Интернет-журнал «Трения, износ,

смазка». 2009. № 3.

15. Смазочные материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: Справочник / Р.М. Матвеевский, В.Л. Лашхи, И.А. Буяновский и др. - М.: Машиностроение, 1989. - 224 с.

16. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты.: Пер. с англ. / Под ред. Ю.С. Заславского. - М.: Химия, 1988. - 488 с.

17. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля. Методы и средства / В. И. Балабанов. – М.: «Астрель». – 2002. – 64 с.

18. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / Остриков В.В., Нагорнов С.А., Клейменов О.А. и др. – М.: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. - 304 с.

19. Твердосмазочная композиция, патент российской федерации. № 2553255, 2015.

20. RD 50-531-85. Обеспечение износостойкости изделий. Метод экспериментальной оценки противоизносных свойств смазочных материалов при трении: методические указания, 1986.