МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт: «Политехнический»
Факультет: «Автотракторный»
Кафедра: «Автомобильный транспорт»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

_____/_____
«_____» _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
д.т.н., профессор

_____ / Ю.В. Рождественский
«_____» _____ 2017 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпусНой квалификационной работе
на тему «Изучение зависимости процессов трения от шероховатости»

ЮУрГУ-23.04.03.2017.169.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы:
к.т.н., доцент

_____ / И.В. Мухортов
«_____» _____ 2017 г.

Автор работы:
магистрант группы П-219

_____ /Е.В. Новиков
«_____» _____ 2017 г.

Нормоконтролер:
к.т.н., доцент

_____ /А.А. Дойкин
«_____» _____ 2017 г.

Челябинск 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт: «Политехнический»
Факультет: «Автотракторный»
Кафедра: «Автомобильный транспорт»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой,
д.т.н. , профессор
_____ / Ю.В. Рождественский
«_____» _____ 2017 г.

З А Д А Н И Е

на выпусНую квалификационную работу (магистерскую диссертацию)

Новикова Евдокима Владимировича

1. Тема выпусНой квалификационной работы: «Изучение зависимости процессов трения от шероховатости»
утверждена приказом по университету №19 от «28» апреля 2017 г.

2. Срок сдачи студентом законченной выпусНой квалификационной работы
«22» июня 2017 г.

3. Исходные данные к выпусНой квалификационной работе:

- исходные данные для измерения шероховатости в трибосопряжении «ролик-ролик»;
- исходные данные трибологического состава Звезда-3;
- машина трения ЗИП ИИ-5018;
- литература по теме выпусНой квалификационной работы.

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

- Аннотация.
- Введение.
- Состояние вопроса и задачи исследования.
- Оценка изменения шероховатости от режима трения.
- Экспериментальное определение параметров шероховатости.
- Оценка влияния различных видов смазки на шероховатость.
- Выводы и предложения.

5. Перечень графического (иллюстрационного) материала:

- Иллюстрации в тексте пояснительной записки.

6. Консультанты по проекту (работе), с указанием относящихся к ним разделов проекта:

Раздел	**Консультант**	**Подпись, дата**	
		Задание выдал	**Задание принял**
Оценка изменения шероховатости от режима трения	И.В. Мухортов		
Экспериментальное определение параметров шероховатости	И.В. Мухортов		

Дата выдачи задания «15» марта 2017 г.

Руководитель _____ / И.В. Мухортов

Задание принял к исполнению «15» марта 2017 г.

Магистрант _____ / Е.В. Новиков

АННОТАЦИЯ

Новиков Е.В. Влияние шероховатости на режимы трения, при применении трибосоставов РВС – Челябинск: ЮУрГУ (НИУ), П-219, 2017. − 100 с., 22 илл., 16 табл. список литературы – 59 наим.

В работе предпринята попытка подтвердить или опровергнуть теоретические методики и практические испытания, основанные на внедрении в связующий материал трибосостава РВС на основе серпентина. Влияние трибосостава на шероховатость поверхности трения и ее изучение. Образование антифрикционной пленки и ее изучение. В последующем, влияние шероховатости поверхности трения, на режимы трения, изменения основных показателей, какое влияние оказывает на износостойкость и надежность узла трения.

Работа состоит из четырех разделов. В первом разделе выполнен обзор теорий режимов трении и влияния шероховатости. Второй раздел посвящен описанию и поиску трибоматериала. Третий раздел посвящен описанию и выбору экспериментальных исследования, необходимых для получения желаемого результата в сопряжение ролик-ролик. В четвертом приведены результаты исследований шероховатости поверхности трения, с применение трибосостава в сопряжении ролик-ролик.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ 8
1.1 Краткие сведения о процессе трения 8
1.2 Влияние шероховатости поверхности на трение и изнашивание подвижных сопряжений 12
1.3 Влияние трибоматериалов на шероховатость и износ трибосопряжений 18
1.4 Базовые присадки к смазочным материалам..... 20
1.5 Трибосоставы к моторным маслам..... 23
1.6 Анализ тиботехнических препаратов..... 35
2 ПАТЕНТЫ, РАЗРАБОТКИ ИСПЫТАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СОСТАВОВ 38
2.1 Обоснование выбор трибосостава..... 38
Существуют следующие способы подготовки природного серпентинита: 40
2.2 Описание трибологического состава «Звезда – 3» 41
2.3 Заявленные испытания триболгического состава «Звезда-3» 44
2.4 Исследования и испытания трибосоставов на основе серпентина 46
3МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 57
3.1 Общая методика 57
3.2 Методика исследования трибосотава, его влияние на шероховатость поверхностей трения, на образование антифрикционной, защитной пленки 58
4ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СЛОЯ 68
4.1 Испытания при скольжении подвижного ролика о подвижный 68
4.2 Испытаний при скольжении подвижного ролика о не подвижный..... 83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 94

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наиболее актуальными проблемами, стоящими перед мировой промышленностью остаются проблемы связанные с повышением надежности, износостойкости узлов и механизмов, а вследствие этого и качества выпускаемой продукции. Качество и надёжность изделий в основном обусловлены безотказностью работы их подвижных механизмов, а она в свою очередь определяется точностью размеров, формы и взаимного расположения сопрягаемых поверхностей деталей, а также состоянием их поверхностного слоя. Именно проблемы, связанные с состоянием поверхностного слоя рассматриваются в настоящее время как наиболее перспективное направление.

Актуальность проблемы оптимизации микрогеометрии поверхностей объясняется возможностью повышения качества изделий в результате увеличения точности размеров и формы поверхностей в конкретном типе трибосопряжения.

Основные экспериментальные исследования в этой области посвящены изучению изменения поверхностного слоя при трении. Действительно, экспериментально доказано, что одним из основных факторов, влияющих на трение-скольжение, является микрогеометрия трущихся поверхностей. Известно, что в большинстве случаев выход изделия из строя связан с изнашиванием подвижных узлов в процессе их трения.

Поэтому научный интерес представляет не только степень и характер влияния микрогеометрии на процесс трения, но и изменение самой микрогеометрии, установление закономерностей этого изменения.

Объектом исследовательских испытаний выбраны трибосопряжения «ролик – ролик».

Основным объектом испытаний выбран ролик, трение которого происходит о поверхность статичного ролика, при различных условиях, количества смазки, вида смазки, температур и давления. Исследовательские испытания проведены на машине трения ЗИП ИИ 5016, моделирующей различные режимы трения, частоту и давление.

Цель испытаний состоит в исследовании механизмов трения, изменение шероховатости поверхности и ее влияние на зависимости входных и выходных параметров при моделировании трибосопряжения «ролик – ролик» на трибологическом стенде.

В данной работе предпринята попытка моделирования процесса трения в трибосопряжении «ролик – ролик» при различных режимах трения, температурах, нагрузках, при различных видах смазки и ее количества и анализ изменение шероховатости поверхности ролика, а так же ее влияние на процесс трения. Обязательным условием является точность измерения входных и выходных параметров.

Таким образом, при проведении экспериментальных работ решались следующие задачи, согласно утвержденной программе и методике:

1. Подготовка стенда и измерительного оборудования для обеспечения необходимой информативности измерений, а именно, точности и достоверности измерения значений необходимых параметров.

2. Выполнение измерений коэффициента трения при:

- переменном контактном давлении;
- переменной скорости скольжения ролика;
- переменной температуре;
- переменном количестве и виде смазки на поверхности ролика.

4. Анализ полученных зависимостей и описание режима трения.

5. Обоснование параметров трибосопряжения и смазки, определяющих трибологические характеристики.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Краткие сведения о процессе трения

Существует множество научных работ дающих определение и математическое и физическое описание различные процессы трения, в данной работе автор не преследовал задачу углубиться в термины и формулы, для теоретического обзора будет коротко рассмотрена данная тема.

Сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, называется силой трения.

Материал, вводимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и интенсивности изнашивания, называется смазочным материалом. Подведение смазочного материала к поверхности трения называют смазыванием, а действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшается сила трения и (или) интенсивность изнашивания, называется смазка.

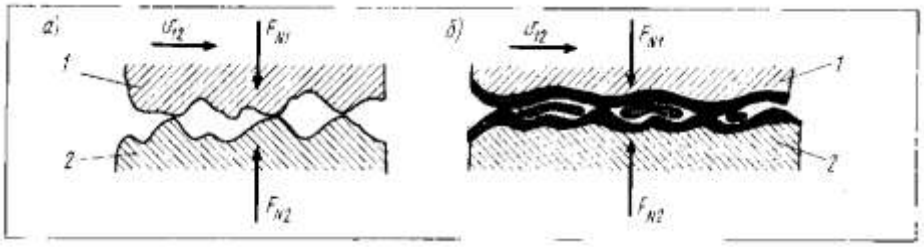


Рисунок 1.1 – Виды трения

В зависимости от состояния поверхностей трения различают два вида трения: трение без смазочного материала (сухое трение) и трение со смазочным материалом.

Трение без смазочного материала называют трение твердых тел, при отсутствии на поверхностях трения введенного смазочного материала любого вида (рисунок 1.1, а).

Трение со смазочным материалом называют трение твердых тел при наличии на поверхностях трения введенного смазочного материала любого вида (рисунок 1.1,б).

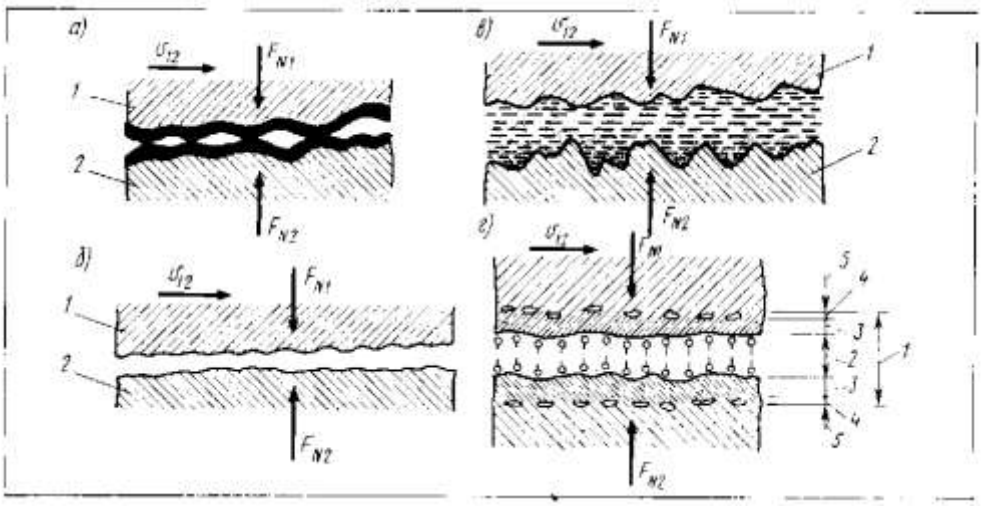


Рисунок 1.2 – Виды смазки поверхностей при трении деталей

Различают следующие виды смазки:

- Твердая, при которой разделение поверхностей трения деталей осуществляется твердым смазочным материалом (рисунок 1.2, а);
- Жидкостная, при которой полное разделение поверхностей трения деталей 1 и 2 осуществляется жидким смазочным материалом (рис. 7.2, в);
- Газовая, при которой разделение поверхностей трения деталей осуществляется газовым смазочным материалом (рисунок 1.2, б);
- Полужидкостная, при которой частично осуществляется жидкостная смазка (рисунок 1.2, в);
- Граничная, при которой трение и износ между поверхностями, находящимися в относительном движении, определяются свойствами поверхностей и свойствами смазочного материала, отличными от объемных (рисунок 1.2, г);
- Гидростатическую (газостатическую), при которой полное разделение поверхностей трения деталей, находящихся в относительном движении или

покое, осуществляется в результате поступления жидкости (газа) в зазор h между поверхностями трения под внешним давлением p (рис. 1.3, а);

- Гидродинамическую (газодинамическую), при которой полное разделение поверхностей трения осуществляется в результате давления, самовозникающего в слое жидкости при относительном движении поверхностей (рис. 1.3, б);

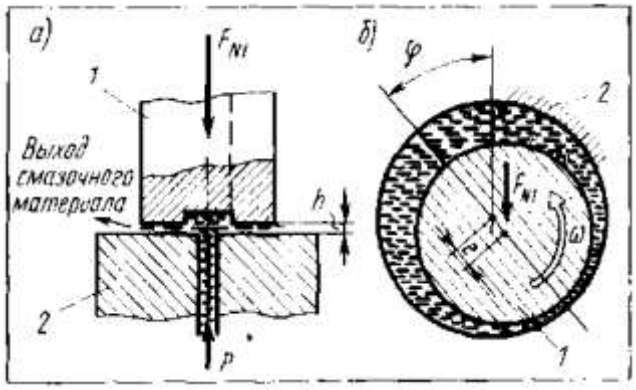


Рисунок 1.3 – Гидростатический, гидродинамический вид смазки поверхностей при трении деталей

Эластогидродинамическая, при которой характеристики трения и толщина пленки жидкого смазочного материала между двумя поверхностями определяются упругими свойствами материалов тел и самопроизвольным снижением напряжений, ползучестью, упругим последействием инеобратимыми остаточными деформациями материалов, участвующих в трении.

Промежуточный слой называют третьим телом между основными материалами фрикционной пары. Он состоит из адсорбированного слоя, пленки оксидов или других химических соединений и слоя дефектного основного материала. При толщине слоя жидкости 0,1 мкм ее свойства уже отличаются от объемных свойств.

Трению движения предшествует трение покоя, т. е. трение между телами при относительном предварительном микросмещении двух тел, и период перехода от покоя к скольжению. Предварительное смещение равно расстоянию, при

котором сила трения покоя возрастает от нуля до некоторого максимального значения.

Эти микросмещения перед полным скольжением достаточно малы: порядка 0,1...1,0 мкм и в ряде случаев могут быть необратимыми. Сила трения покоя, любое превышение которой ведет к возниНовению движения, называется наибольшей силой трения покоя.

По кинематическому признаку различают следующие виды трения движения:

- трение скольжения;
- трение качения;
- трение верчения;
- трение качения с проскальзыванием;
- трение при виброперемещениях.

Процессы трения рассматривают на моделях, позволяющих оценить молекулярное взаимодействие материалов контактирующих тел с учетом влияния внешней среды (оксиды, пленка, смазка). Первоначально разработанные теории механического сцепления, молекулярного притяжения, сваривания, среза и пропахивания получили значительное развитие в молекулярно-механической теории трения, нашедшей наиболее широкое распространение.

Согласно этой теории процесс трения происходит не только на границе раздела твердых тел, но и в некотором объеме поверхностных слоев, физико-механические свойства которых отличаются от свойств материалов в объеме тел. Это связано с деформированием поверхностных слоев, с изменением температуры, с образованием слоев адсорбированных паров влаги или газов, с образованием пленок оксидов, атомов или молекул окружающей среды и т. п.

Для расчетов механизмов, работающих при разных режимах и видах трения, важное значение имеет зависимость силы трения от скорости относительного движения трущихся поверхностей. Как известно внешним трением (трением) называют явление сопротивления относительному

перемещению, возникающему между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним, сопровождаемое диссипацией энергии. Это явление имеет весьма сложную природу, изучение которой должно осуществляться методами физики, химии и механики.

Мерой механического взаимодействия тел при трении является сила трения — сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, тангенциально направленная в сторону, противоположную направлению относительного движения.

Физическая природа трения без смазочного материала истолковывается как процесс зацепления и разрушения шероховатостей поверхностей при относительном движении звеньев. При этом сила трения будет тем большей, чем хуже обработаны поверхности контакта.

1.2 Влияние шероховатости поверхности на трение и изнашивание подвижных сопряжений

Одним из первых И. В. Крагельский [26, 27—29, 34] исследовал влияние шероховатости поверхности на силу трения несмазанных поверхностей. Он экспериментально, а впоследствии и теоретически показал, что при трении без смазки с увеличением степени шероховатости поверхности сила трения уменьшается. Затем в значительном интервале изменения степени шероховатости сила трения остается постоянной, и только при очень грубой обработке поверхности наблюдается небольшое увеличение силы трения.

Далее, подробное исследование трения без смазки и граничного трения в зависимости от шероховатости поверхности было выполнено С. А. Суховым [45-46]. Он экспериментально показал, что закономерность, найденная И.В. Крагельским для трения покоя, справедлива и для трения движения. Зависимость силы трения от степени шероховатости изменяется: при малых значениях параметра $H_{ск}$ для трения движения наблюдается такая же зависимость, как и для трения покоя, а в области больших значений параметра $H_{ск}$ сила трения движения

возрастает, в то время как при трении покоя она почти не увеличивается. При увеличении степени шероховатости поверхности зависимость коэффициента трения от параметра шероховатости $H_{ск}$ проходит через минимум. Характер изменения коэффициента трения в зависимости от параметра шероховатости $H_{ск}$ при граничной смазке такой же, как и при трении без смазки.

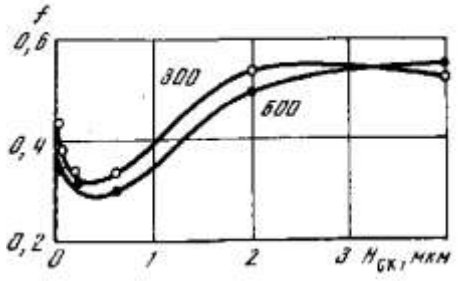


Рисунок 1.4 – Зависимость коэффициента трения от параметров шероховатости

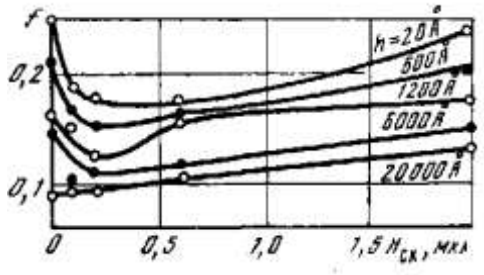


Рисунок 1.5 – Зависимость коэффициента трения от параметров шероховатости

На рисунке 1.4 приведена зависимость коэффициента трения f от параметра шероховатости $H_{ск}$ при нагрузках N = 300 и 600 г для пары сталь — медь (трение без смазки) [95, 96]. По мере утолщения слоя смазки глубина минимума уменьшается, а при толщине около десятых долей микрона минимум исчезает. Это объясняется нивелирующим влиянием слоя смазки. На рисунке 1.5 приведена зависимость коэффициента трения f от параметра шероховатости $H_{ск}$ пары сталь — латунь при различной расчетной толщине (h) смазки (касторовое

масло) [35, 36]. Позднее В. С. Щедров [16] и В. А. Кислик [17] показали, что сила трения скольжения при изменении степени шероховатости поверхностей в достаточно широком интервале также проходит через минимум. Учитывая молекулярно-механическую природу трения, В. А. Кислик [17] приходит к выводу, что «зависимость между коэффициентом трения и степенью шероховатости должна изображаться криво U-образного типа. При достаточно чистых поверхностях пара металл — металл образует узлы схватывания за счет тесного молекулярного контакта. При этом изменение коэффициента трения в этой области будет изображаться спадающим участком кривой. Дальнейшее увеличение степени шероховатости приводит к тому, что процесс схватывания не развивается, и взаимодействие поверхностей в этой области происходит за счет механического зацепления микронеровностей; коэффициент трения в этом интервале значений параметра шероховатости будет тем больше, чем больше Rmax.Часть кривой, общая для обеих ветвей у точки минимума, должна отвечать смешанному процессу изнашивания». Подтверждение этого положения приведено на рисунке 1.6, где показана зависимость коэффициента трения f от суммарного параметра шероховатости $\sum R_{max}$ для пар чугун—сталь (1) и бронза — сталь (2).

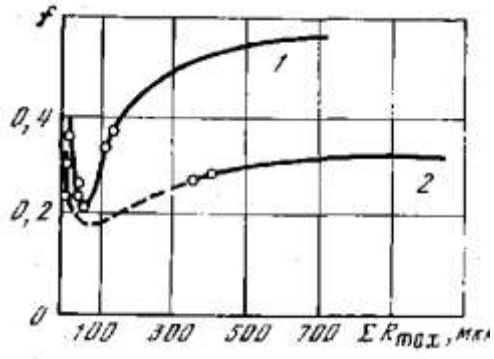


Рисунок 1.6 – Зависимость коэффициента трения от параметров шероховатости для пары сталь - бронза

Нужно отметить, что изменение шероховатости сопрягаемых деталей приводит к существенной разнице в сопротивляемости их изнашиванию. Результаты измерения потери веса образцов (сталь—сталь) и необходимые подсчеты приведены в таблице 1.1, которая взята из работы [17].

Таблица 1.1 – Результаты измерения потери веса образцов (сталь—сталь)

Группа обр.	Rmax Ролика и обоймы, мкм	Работа трения. м	Сумма потерь веса ролика и обоймы, г	Удельная работа, кгм/г
I	503	320	0,0674	4740
II	310	430	0,0575	4470
III	194	400	0,0820	5600
IV	146	500	0,3540	1413

Проведенные в дальнейшем исследования влияния шероховатости поверхности на трение и изнашивание сводились к установлению так называемой оптимальной шероховатости применительно к конкретным трущимся сопряжениям. Покажем это на некоторых примерах. Исследования по влиянию чистоты механической обработки поверхности хромированного зеркала цилиндра на износ поршневых колец показали, что кривая зависимости износа поршневого кольца от класса чистоты обработки цилиндра имеет минимум.

При этом установлено, что наибольшая износостойкость кольца будет в том случае, когда чистота обработки поверхности зеркала цилиндра соответствует ∇9, что благоприятствует «жизнеспособности» масляной пленки [24].

Исследование по влиянию величины радиального усилия на резиновых манжетах и чистоты поверхности вала на износ сопряжения резина — металл, работающих в жидкой среде, показали, что для наименьшей величины износа оптимальное давление составляет 0,38—0,42 кг/см^2 и чистота обработки поверхности вала соответствует ∇9 [20].

Экспериментальная U-образная зависимость коэффициента трения от степени шероховатости для пары металл — полимер проявляется в большей степени, чем для двух металлических поверхностей. По данным [3, 49] увеличение степени шероховатости металлического вала приводит к переходу коэффициента трения через минимум.

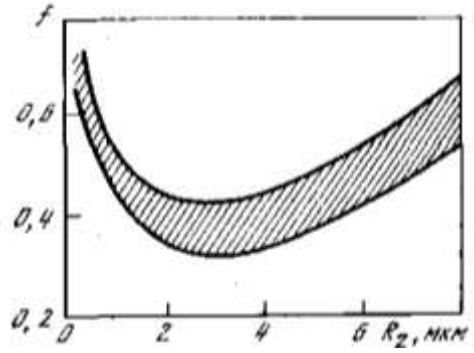


Рисунок 1.7 – Экспериментальные значения шероховатости для пары сталь— капрон

На рисунке 1.7 представлены экспериментальные данные [36] для пары сталь — капрон (удельное давление 1,5 кг/см2, скорость скольжения 1 м/сек, температура 20—30°С, трение без смазки). Ю. А. Евдокимовым [30] проведены исследования влияния шероховатости вала из стали 45 как на износ капронового подшипника, так и на износ самого вала (рисунке 1.8а и 1.8б). Одновременно регистрировались коэффициент трения и температура (рисунке 1.8в и 1.8г). Шероховатость поверхности вала изменялась от ∇ 3 до ∇ 10. Удельная нагрузка составляла 25 кг/см2, скорость скольжения 1 м/сек, смазка — «Индустриальное-20», что соответствовало обычному режиму работы пластмассового подшипника в эксплуатационных условиях. Износ вала и подшипника изменялся от 0 до 110х10-5 г/км. При одном и том же значении параметра шероховатости износ подшипника больше, чем вала. В данных условиях оптимальной чистотой является обработка по ∇7 (значения Rz в пределах от 3,2 до 6,8 мкм), при которой достигается уменьшение износа, снижение коэффициента трения и температуры. При этом наблюдается сглаживание вершин микронеровностей, увеличение

радиусов закругления единичных микронеровностей металлического вала. Исходная шероховатость, близкая к оптимальной, уменьшает износ, температуру на поверхности трения и коэффициент трения.

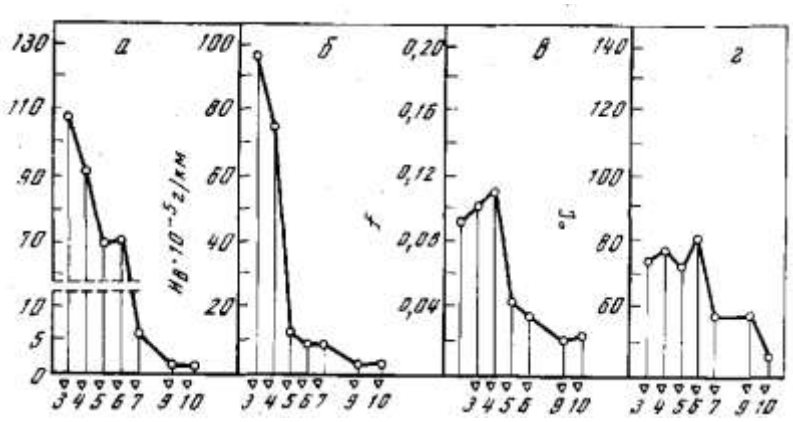


Рисунок 1.8 – Влияния шероховатости вала из стали 45 как на износ подшипника и вала

Отметим, что оптимальной шероховатости соответствует минимум коэффициента трения и минимум величины износа материалов..

В таблице 1.2 приведены результаты испытаний [44] антифрикционных свойств и износостойкости образцов из полиамида (силона), работающих в паре с роликами 0 40 мм из разных металлов с чистотой обработки от ∇6 до ∇10 (удельное давление— 45 кг/см, скорость скольжения — 0,39 м/сек, смазка — масло вязкостью 5,6°ВУ при температуре 50°С).

Из данных таблице 1.2 следует, что для указанных пар материалов минимальное значение коэффициента трения, а также величина весового износа однозначно соответствуют определенному классу чистоты.

Аналогичные результаты получены при исследовании влияния шероховатости металлических поверхностей на трение и изнашивание тефлона [46]. Показано, что состояние поверхности образцов из тефлона практически не оказывает влияния на коэффициент трения, поскольку тефлон быстро прирабатывается к сопряженному металлическому образцу. Зависимость

коэффициента трения и величины весового износа тефлона от шероховатости металлических поверхностей имеет минимум, причем для обеих зависимостей положение минимума соответствует оптимальному значению параметра Rmax в пределах от 0,2 до 4 мкм (удельное давление 300 кг/см2, скорость 1 м/сек). Таким образом, для пар металл — полимер так же, как для пар металл — металл, зависимость коэффициента трения и интенсивности изнашивания от степени шероховатости металлического контртела имеет минимум в некотором диапазоне изменения степени шероховатости.

Таблица 1.2 – Результаты испытаний антифрикционных свойств и износостойкости образцов из полиамида, работающих в паре с металлическими роликами

Материал ролика	Класс чистоты поверхности ролика	Износ полимерного образца, мг	Износ ролика, мг	Коэффициент трения
Серый чугун	6	25,4	3,1	0,15
	7—8	7,7	2,8	0,11
	9	5,2	2,7	0,06
	10	6,5	2,9	0,07
Фосфористая бронза	6	7,5	11,5	0,07
	7-8	3,0	4,8	0,03
	9	5,4	5,5	0,06

1.3 Влияние трибоматериалов на шероховатость и износ трибосопряжений

Из анализа приведенных исследований следует, что шероховатость поверхности может существенно влиять на процесс образования задиров в парах трения и на интенсивность изнашивания деталей. Однако некоторые марки трибоматериалов и результаты предварительных опытов показали, что на

образование задира в паре трения, шероховатость поверхности деталей в определенных пределах существенно не влияет, а более того восстанавливает контактирующую поверхность трибоузла. Этот вывод требует более глубокого экспериментального исследования

На основании вышеизложенных результатов фундаментальных исследований можно сформулировать гипотезу образования модифицированного слоя или защитной антифрикционной пленки в трибопаре. Наночастицы в составе потока смазочного материала и взаимного перемещения сопрягаемых деталей под нагрузкой быстро заполняют углубления шероховатой поверхности шлифованных деталей. В рабочем зазоре трибоузла под действием высокой мгновенной температуры и удельного давления в точках контакта за счет сил адсорбции, сил молекулярного взаимодействия и возможно магнитных сил происходит модифицирование поверхностей трения. Нельзя исключать и возможность образования защитной сервовитной пленки. При этом в десятки и сотни раз увеличивается фактическая площадь контакта в трибоузле, уменьшается коэффициент трения и снижается температура в зоне трения. В результате чего существенно снижается интенсивность изнашивания деталей, увеличивается ресурс и повышается безотказность ресурсных сопряжений ДВС.

Изнашивание материала деталей и изменение их размеров в процессе трения определяются свойствами материалов, режимами трения (контактное давление, скорость скольжения или качения) и условиями работы узла трения (температура и свойства окружающей среды, вид смазочного материала или его отсутствие). В зависимости от названных факторов находятся и закономерности изнашивания трущихся поверхностей. Параметры, необходимые для получения полной информации о процессе трения момент (сила трения), сила нормального давления, скорость трения (частота вращения образца или контртела), температура в заданной зоне, работа трения, а при необходимости и другие величины, измеряются и регистрируются с помощью машин трения.

В результате вышесказанного изучение зависимости процессов трения от шероховатости за долгие годы было, множество, раз изучено и подтверждено многочисленными учеными, опыты которых повторять не имеет ни какого смысла, а вследствие этого, автор не видит ни какой необходимости тщательно разбирать данную тему.

Учитывая, что шероховатость напрямую влияет на износ, а следовательно и на общий процесс трения, автором было принято решение рассмотреть подробно влияние различных видов смазки, в том числе РВС материалов на шероховатость и износ и изменение шероховатости поверхностей при различных режимах трения.

Для дальнейшего исследования будут приведены различные виды смазки, а так же виды и свойства ПАВ и РВМ из которых в последствии будет выбран трибоматериал.

1.4 Базовые присадки к смазочным материалам

Смазочные масла по их назначению классифицируют на следующие основные группы: моторные, индустриальные, трансмиссионные, турбинные, компрессорные, приборные итд.

Современные моторные масла представляют собой сбалансированный коллоидный раствор многих функциональных присадок, подразделяются на:

1. Минеральные масла, получаемые в процессе переработки (перегонки) нефти и состоящие из молекул разной длины (длина углеводородных цепочек – 20…35 атомов) и разного строения..

2. Синтетические масла, получаемые путем химических реакций, направленных на образование однотипных молекул органических веществ с заданными свойствами, в качестве которых выступают полиальфаолефины (ПАО), алкилбензолы или эфиры (эстеры).

Синтетические моторные масла обладают более высокой вязкостно – температурной характеристикой (ВТХ) по сравнению с маслами на минеральной

основе. Температура потери подвижности синтетических моторных масел может быть существенно ниже (до – 650 °С), чем у минеральных, а вязкость при температурах 250…3000 °С в 2–3 раза выше, чем у равновязких им минеральных масел при 1000 °С. Они превосходят минеральные масла по антиокислительным свойствам, диспергирующей и механической стабильности, обладают равными или лучшими противозадирными и противоизносными свойствами.

3. Частично синтетические (полусинтетические) масла, состоящие из смесей минеральных и синтетических базовых масел. Нужно сказать, что реальное содержание ПАО в обычной полусинтетике не более 30…35 % (чаще 15…25 %), остальное – минеральная основа и специальные присадки. Гидрокрекинговые масла состоят из НС – компонента примерно на 80 %, остальные 20 % приходятся на пакет присадок.

В общем случае смазочные масла должны обладать следующими характеристиками:

1) оптимальными вязкостно – температурными свойствами, обеспечивающими подвижность при низких температурах, и создание прочной смазочной пленки на рабочих поверхностях в широком диапазоне температур;

2) смазывающими свойствами, обеспечивающими минимизацию трения и различных видов изнашивания;

3) высокой устойчивостью к окислению, предотвращающей значительные изменения химического состава смазочных масел в процессе их работы;

4) моющими свойствами, влияющими на снижение склонности масел к образованию различного состава смолистых отложений на рабочих поверхностях и в смазочной системе;

5) низкой коррозионной активностью;

6) удовлетворительными защитными свойствами, позволяющими маслу предохранять металл от атмосферной коррозии.

Существует множество органических и металлоорганических присадок, предназначенных для повышения устойчивости масел к окислению, абсолютного

значения их вязкости, а также смазочной способности. Одновременно они снижают зависимость вязкости масла от температуры, температуру застывания, замедляют коррозию металлических поверхностей, и т. д. (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Функциональные присадки, используемые в смазочных маслах

Моющие (детергенты)	Уменьшение и предотвращение образования высокотемпературных отложений	Сульфонаты. феноляты, салицилаты различных металлов (кальция, бария, магния и др.) (МАСК. АСК. ПМС «А», С-150. АСБидр.)
Диспергирующ-ие (дисперсанты)	Расщепление загрязнений и удержание их во взвешенном состоянии	Моно- поисукцннимиды. эфиры янтарной кислоты, днепрол и др.
Антиокислите-льные	Повышение окислительной устойчивости масел	Тнофенолы. ароматические и алифатические амины, дилнофосфаты и дитнокарбаматы различных металлов (цинка, бария, сурьмы и др.) (ионол. агидол-2, ПХП-21. ВНИИНП-354 и др.)
Вязкостные (загущающие)	Уменьшение степени снижения вязкости масла с ростом температуры	Полиизобутилен. сополимеры олефинов. полиметакрнлат. винниол. сополимеры (КП-10. ПМА ffВ-1». «В-2» и др.)
Дспрессорные	Понижение температуры застывания масла	Полиметакрнлат, кальциевая соль алкилфенола, бариевая соль о и сульф идалНлф епола {ПМА «Д», АзНИИ-ЦИАТИМ-1 и др.)
Противонзносн-ые и протнвозадирные	Повышение окислительной устойчивости масел	Дилнофосфаты металлов, сульфиды (дисульфиды) и пх производные, фосфаты, эфиры трихлорметнлф ос фоновой кислоты (АБЭС. КИНХ-2, Л3-23к. ОТП. хлорэф-40. фриктол н др.)
Антифрикционные	Улучшение смазочных свойств масла	Металлические мыла, дилнофосфаты и дитнокарбоматы молибдена и их производные, дисульфид молибдена, графит (МКФ-18. ПАФ-4. фриктол и др.)
Защитные (ингибиторы коррозии)	Предотвращение коррозии черных металлов	Нитрованные масла, сукцинимид мочевины (АКОР-1. СИМ. НГ-107 и др.)
Противопенные	Предотвращение вспенивания масла	Силоксаны (ПМС 200А и др.)

1.5 Трибосоставы к моторным маслам

На сегодняшний день используются существуют следующие виды трибопрепаратов:

1. Приработочные препараты – используются в проведение обкатки (приработки) агрегатов транспортных средств, таких как двигатели внутреннего сгорания и элементы трансмиссии, обусловлено наличием дефектов изготовления и сборки деталей и узлов, приводящих к схватыванию поверхностей трения и возможному появлению на них задиров, а также необходимостью выявления возможных скрытых дефектов изготовления.

Несмотря на высокую эффективность и целесообразность использования приработочных препаратов на отечественной автомобильной технике, автолюбителям всё же лучше воздержаться от их применения до окончания гарантийного срока, установленного заводом – изготовителем. Иначе любой дефект или отказ двигателя, даже случившейся по вине завода – изготовителя, будет им оспорен по результатам химического анализа моторного масла, который неизбежно укажет на применение не допущенных заводом смазочных материалов и присадок.

Однако после проведения ремонтных работ своими силами или при отсутствии по каким-либо причинам гарантийных обязательств применение приработочных препаратов позволит не только быстрее выйти на штатные режимы эксплуатации (сократить время обкатки), но и значительно увеличить межремонтный ресурс техники (повысить качество приработки).

2. Ремонтновосстановительные препараты – используются в результате многолетних исследований в основном отечественных ученых и практиков трение теперь представляется не только как разрушительное явление природы. Стало известно, что в определенных условиях оно может быть реализовано как самоорганизующийся созидательный процесс.

Теоретическими предпосылками к появлению РВП явились исследования в области теории самоорганизации, предсказанной И. Р. Пригожиным, а также

научные открытия российских ученых. К ним в первую очередь относятся: эффект пластифицирования поверхностей трения в присутствии поверхностно – активных веществ (ПАВ), открытый П. А. Ребиндером; явление избирательного переноса при трении (эффекта безызносности), открытое и исследованное Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским; эффект аномально низкого трения, обнаруженный Е. А. Духовским, А. А. Силиным и их коллегами.

Эффект безызносности (избирательный перенос при трении) – научное открытие русских ученых Д. Н. Гаркунова и И. В. Крагельского. Возникает в результате протекания на поверхности контактирующих тел химических и физических процессов, приводящих к образованию самоорганизующихся систем автокомпенсации износа и снижения коэффициента трения.

Согласно проведенной работе Гительмана Д.А. [31], необходимо отметить, что для различного периода эксплуатации, долговечность и работоспособность деталей и агрегатов техники во многом определяется качеством и составом смазочной среды [1, 5, 11-14]. Необходимые эксплуатационные свойства масел определяются набором специальных присадок, вводимых в базовую минеральную или синтетическую основу.

Использование трибодобавок [11-14, 20-22] позволяет, не ухудшая эксплуатационных параметров масел, обеспечивать формирование на поверхностях трения деталей машин необходимую структуру слоя с высокими триботехническими характеристиками. Таким образом, при наличии высоких противоизносных и восстановительных характеристик современных смазочных материалов, можно существенно сократить период обкатки, увеличить безотказность и долговечность ресурсных сопряжений ДВС [11, 13].

Создание самих антифрикционных, защитных и восстановительных покрытий на поверхностях трения деталей можно осуществлять безразборным способом, с помощью добавки соответствующих трибоматериалов в зоны трения путем введения их в состав используемых смазочных масел.

Исходя из работы Гительмана Д.А. [31] все известные триботехнические составы 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 литературным данным [11-14, 20-22] можно классифицировать на:

1. Модификаторы трения - Форум, Аспект, Ум х-2 и др., описаны выше;
2. Реметализанты - Римет, Ресурс, Супермети и др.;
3. Кондиционеры металла - Реном, RENOM, ER, ENERGY RELEASE, WAGNER и др.;
4. Ревитализанты - РВС, ХАДО, ФОРСАН, СУПРОТЕК, НИОД, ОМКА, РЕАГЕНТ-2000 и др [25].

Все препараты различаются способами применения (введения в трущиеся соединения). Большинство составов вводят в моторные и трансмиссионные масла, топливо или пластичные смазки. Другие подают через систему питания (впусНой трубопровод) в виде аэрозолей и добавок к топливно – воздушным смесям – так называемая «специальная обработка». Ряд препаратов подается непосредственно в зону трения, например, в цилиндропоршневую группу.

1.5.1 Реметаллизанты (металлоплакирующие композиции)

Реметаллизанты (металлизанты) – порошковая или ионная добавка на основе пластичных металлов к топливно – смазочным материалам, технологическим и другим средам, реализующая эффект избирательного переноса при трении (эффект безызносности). Особый класс трибоматериалов, базирующийся на аспектах теории самоорганизации, предсказанной И. Р. Пригожиным, и научном открытии российских ученых Д. Н. Гаркунова и И. В. Крагельского – явлении избирательного переноса при трении (эффекта безызносности).

Механизм их действия заключается в металлоплакировании трущихся поверхностей вследствие осаждения металлических компонентов, входящих в состав реметаллизантов во взвешенном или ионном виде. При этом частично устраняются микродефекты, снижается коэффициент трения, значительно повышается износостойкость плакированных поверхностей, в некоторых случаях в сотни раз.

В настоящее время металлоплакирующие композиции (реметаллизанты) делят на порошковые и ионные. Порошковые металлоплакирующие препараты в качестве основного компонента содержат ультрадисперсные порошки, а ионные – полностью маслорастворимые соли пластичных металлов, органические кислоты, мыла жирных и нафтеновых кислот, жирные амиды, эфиры жирных кислот и спиртов, а также глицерин. В качестве плакирующих металлов используются медь, олово, цинк, железо, алюминий, свинец, серебро, хром, никель, молибден.

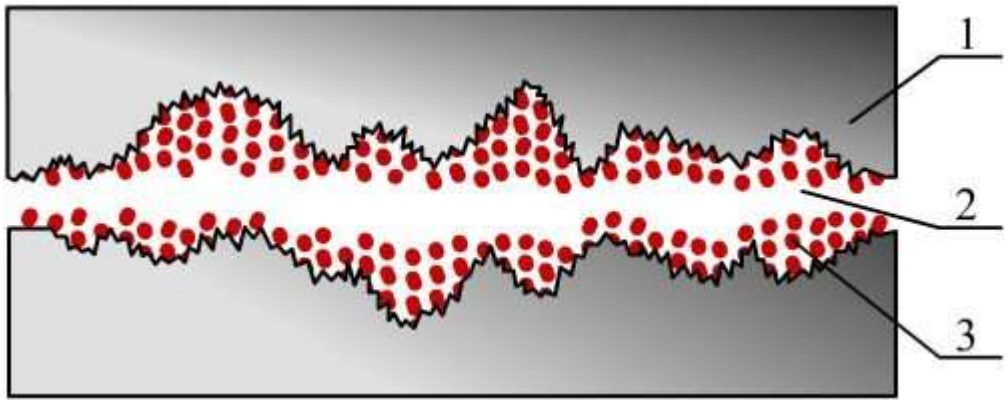


Рисунок 1.9 – Структура поверхности, восстановленной реметаллизантом:

1 – металлическая поверхность детали; 2 – смазочный материал; 3 – «сервовитная» пленка

Все жирные кислоты (предельные и непредельные) являются поверхностно – активными веществами (ПАВ). Под действием жирных кислот и других органических компонентов поверхности трения пластифицируются, что

способствует быстрому созданию оптимальных шероховатостей трущихся поверхностей. При относительно высоких температурах, порядка Т = 423…477 К, на них образуются тончайшие медные структуры (толщиной около 100 нм) – «сервовитная» пленка (рисунок 1.9).

Под действием содержащихся в присадке активных групп СООН и компонентов СМ на поверхности «сервовитной» пленки образуется полимерная пленка – «серфинг – пленка».

Сервовитная пленка – особая структура на поверхностях трения, характерная для «эффекта безызносности», в которой реализуется особый механизм деформации, протекающий без накопления дефектов, свойственных усталостным процессам. (Термин введен Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским).

При применении препаратов этой группы необходимо учитывать следующие особенности:

1. При применении препаратов на основе ультрадисперсных порошковых материалов необходимо учитывать, что ряд частиц, введенных в СМ в виде добавок (взвесей), могут быть центрифугированы как фильтрами тонкой очистки (центрифугами дизелей), так и коленчатым валом, что может привести к забиванию основной масляной магистрали двигателя (каналов коленчатого вала).

2. Существует критическая концентрация соединений, обладающих восстановительной способностью, выше которой из-за быстрого восстановления оксидных пленок в зоне трения вероятность намазывания возрастает. В этом случае отмечается повышенная интенсивность изнашивания. Завышенные концентрации могут приводить к восстановлению ионов металлов и их выпадению в осадок, повышению коррозионных свойств композиций базового смазочного материала и восстановителя.

3. Надо иметь в виду, что образование устойчивых защитных металлических пленок – процесс достаточно продолжительный (постепенный), поэтому при испытаниях, а также штатной работе техники резкое (внезапное) улучшение эксплуатационных показателей может не наблюдаться, но

обязательно будет отмечаться их положительная динамика, существенно влияющая на повышение надежности и ресурса узлов и агрегатов техники.

1.5.2 Полимерсодержащие трибодобавки

В конце пятидесятых годов прошлого столетия Х. В. Германсом и Т. Ф. Иганом было обнаружено явление образования органических отложений (загрязнений) на релейных контактах телефонной и телеграфной связи. На основании специальных высокоточных экспериментов ими было установлено, что отложения в зоне контакта образуются вследствие химических превращений паров органических веществ, выделяемых некоторыми изоляционными материалами. Во всех случаях образовавшиеся отложения снижали коэффициент трения в контактной паре. Поэтому эти соединения было предложено называть «полимерами трения».

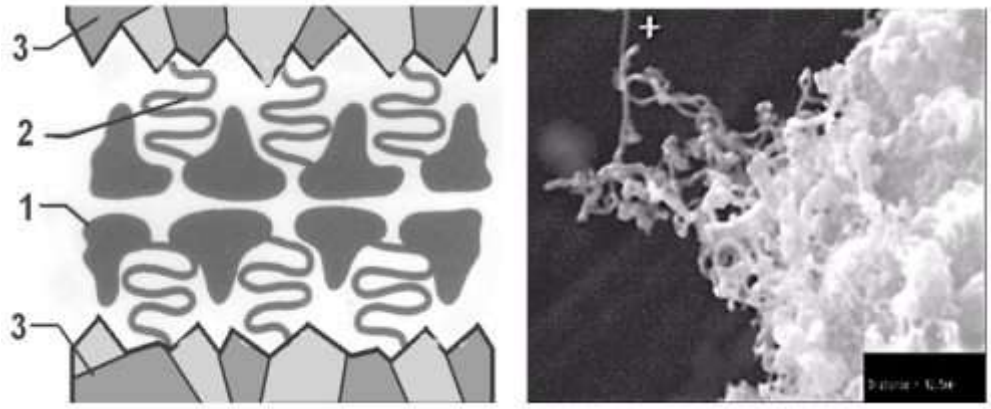


Рисунок 1.10 – Фрагменты структуры Ленгмюра на поверхностях трения (слева) и нановолоНа политетрафторэтилена (справа): 1 – смазочный материал; 2 – спиралевидные молекулы эпилама; 3 – трущиеся поверхности

Трибосмеси, содержащие в своем составе политетрафторэтилен («тефлон»), фторопласт, перфторпропиленоксид, перфторполиэфир карбоновой кислоты («эпилам»), полисилоксаны (силикон) и некоторые другие, следует

выделить в отдельную группу – полимерсодержащие (или полимерные) добавки или модификаторы.

Полимерсодержащие препараты в основном применяются для повышения надежности и экономичности двигателей.

В настоящее время имеется возможность производства волокон политетрафторэтилена диаметром всего в 40…60 нм при длине несколько микрометров. На рисунке 1.10 (справа) представлены фотографии нановолокон ПТФЭ, полученные на электронном микроскопе.

Несмотря на доказанную результативность применения полимерсодержащих препаратов, существует целый ряд серьезных проблем при их широком использовании. Лабораторные исследования и длительные эксплуатационные испытания одного из тефлоновых препаратов, выявили ряд негативных последствий использования данного восстановителя

1. Образовавшееся на поверхностях трения тефлоновое покрытие может постепенно насыщаться мелкодисперсными частицами (продуктом износа) и абразива. Образуется подобие абразивного круга с пластичной матрицей из полимера и режущих элементов из застрявших в ней высокотвердых частиц. В результате, возможен переход от трения полимер по полимеру к трению в режиме абразивный круг – деталь;

2. Отмечено также, что применение тефлоновых препаратов способствует образованию смолистых отложений с белым налетом и нагара на днищах поршней и поршневых кольцах.

3. Рекомендуемые концентрации многих полимерсодержащих препаратов для введения в моторное масло необоснованно завышены (до 25 % от объема моторного масла), что сказывается на химмотологических свойствах базового масла.

4. По данным разработчиков, примененный однажды полимерсодержащий препарат может находиться на трущихся поверхностях до 80 000 км пробега и блокировать применение других РВП и технологий, которые либо не окажут

никакого влияния на состояние обработанного узла, либо, хуже того, могут осесть в уже суженных тефлоном каналах и фильтрах.

6. Применение препаратов, содержащих фторсодержащие материалы, крайне ограничено. Это вызвано том, что при их горении возможно образование в отработавших газах ядовитых химических соединений, близких по составу к боевым отравляющим веществам.

1.5.3 Геомодификаторы

В настоящее время в ряде научно – технических центров разрабатывается новое направление в автохимии и трибологии в целом. Это направление получило наименование «геотрибология» (от греческого геос – земля) – т. е. трение, износ и смазывание в условиях применения различного рода минералов и других соединений геологического происхождения.

Геомодификатор (РВС – технология) – трибодобавка в смазочные материалы и технологические среды на базе минералов геологического (реже искусственного) происхождения, которые могут вступать во взаимодействие с контактируемыми (трущимися) участками деталей и формировать на них металлокерамический слой, частично устраняющий дефекты поверхностей трения.

Целью работ в этом направлении является создание специальных добавок в топливно – смазочные материалы, способствующих формированию металлокерамического слоя на контактирующих участках поверхностей трения, что приведет к частичному устранению дефектов и обеспечению высоких антифрикционных и противоизносных свойств. Такие материалы, главным образом на основе измельченного и модифицированного серпентина, а также других минералов естественного и искусственного происхождения, получили наименование «геомодификаторы» или РВС – технологии.

В начале 80-х годов во время бурения сверхглубокой нефтяной скважины на Кольском полуострове специалисты из группы проф. Крагельского

обнаружили интересный феномен. Во время прохождения бура через определенные породы инструмент не только не изнашивался, но режущие поверхности упрочнялись и восстанавливались. На основе этих наблюдений группой ученых были разработаны новые виды триботехнических составов различного класса на минеральной основе, в основном - серпентинов, включающих хлориты, гарниериты, тальк и ряд других минералов.

Серпентинит (от лат. serpens - змея) - горная порода, включающая в себя серпентин Mg6[Si4Olo](OH)8B качестве базового элемента, составляющего не менее 50% от общего объема породы, а так же тальк $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, пирротин FeS, энстатит $MgSiO_3$, фаялит $(Fe_{0,94}Mg_{0,06})_2SiO_4$, минералы с общей химической формулой Fe_xO_y, как правило, это магнетит Fe_3O_4, реже - гематит Fe_2O_3 др. Число различных минералов, входящих в состав серпентинита, может доходить до 100 без учета «следов» химических элементов. Кроме этого в различных серпентинитах серпентин содержится в различных фазах - антигорита, хризотила, лизордита и др. Все серпентины – зеленые минералы, образующие жирные на ощупь массивные агрегаты и имеющие слоистую структуру, отдалённо напоминающую графит.

Из серпентиновых пород добывают природный асбест (хризотил – асбест). Хризотил – асбест является минералом группы серпентинита, залегает жилами, в виде блестящих зеленоватых поперечно– или продольноволонистых агрегатов. Элементарные волона хризотила представляют собой свернутые в тончайшие трубочки серпентиновые листочки, различимые лишь под электронным микроскопом.

Так же существуют геомодификаторы с минеральными компонентами – бёмитом и цеолитом.

Бёмит – минерал из группы окислов и гидроокислов металлов (по имени немецкого минералога XX века И. Бёма (J. Böhm)), применяемый для изготовления ряда ремонтно – восстановительных препаратов автохимии, при температуре около 500 °C диаспор и бёмит теряют кристаллизационную воду,

превращаясь в безводный глинозем. Промышленностью налажено производство очень дешевого нанодисперсного искусственного бёмита. Исследования, проведенные в ГНУ ГОСНИТИ по применению синтезированного нанокристаллического бёмита в качестве добавок к смазочным материалам, показывают возможность повышения ресурса деталей и уменьшения трения в процессе эксплуатации на 30…33 %.

Цеолиты – минералы из группы водных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных элементов. В 1756 году Ф. Кронштейдт обнаружил увеличение объема образца, сопровождающееся выделением воды из минерала стильбита (гидратированные силикаты алюминия) при нагревании. Оказалось, что подобным свойством обладают и другие минералы этого семейства: клиноптилолит, морденит, фожазит, шабазит. В отличие от кристаллогидратов (серпентинов и бёмита), также выделяющих значительное количество воды при нагреве, цеолиты поглощают и выделяют не только воду, но и другие молекулы без изменения кристаллической структуры.

Восстановление и упрочнение подвижных соединений металлокерамическими материалами осуществляется за счет формирования на поверхностях трения структур повышенной прочности, подавления процессов водородного изнашивания и охрупчивания металла, повышения термодинамической устойчивости системы поверхность трения – смазочный материал. Поверхностно – активные вещества (ПАВ) металлокерамического восстановителя после введения в системы двигателя подготавливают поверхности трения химически (катализ) и физически (суперфиниш), очищая их от нагара, оксидов, отложений и т. д.

Для получения необходимого эффекта от применения геомодификатора должно произойти его разрушение, до этого времени он (например, серпентин) работает, как простой абразив.

После разложения геомодификатора в очищенную зону трения вместе с катализатором происходит внедрение его керамических и металлокерамических

частиц (фибрилла). Зона контакта обедняется свободным водородом, а поверхностные слои вследствие диффузии изменяют свою структуру и увеличивают прочность в несколько раз. В процессе дальнейшей работы на поверхностях трения формируется органо – металлокерамическое покрытие, частично восстанавливающее дефекты поверхности трения и обладающее высокими антифрикционными и противоизносными свойствами.

Металлокерамический защитный слой, который получается на поверхностях трения, может обладать уникальными триботехническими характеристиками:

– микротвердость 65…72 HRC;

– шероховатость 0,3…0,1 мкм;

– коэффициент трения 0,003…0,007;

– температура разрушения 1700…2000 °С.

При применении геомодификаторов в ДВС наблюдается некая оптимальная точка (момент времени) в процессе обработки, когда регистрируемый эффект достигает своего оптимального значения. Продолжение процесса обработки, как указывают ряд исследователей, может привести к ряду негативных последствий.

Применение серпентинита предотвращает износ и возниНовение основных первичных разрушающих факторов, таких как электрохимическая коррозия, истирание, механические повреждения. Более того, он может служить и восстанавливающим средством для уже изношенных поверхностей.

Длительные всесторонние испытания натуральных смазочных материалов показали, что применение присадок на основе серпентинита снижает интенсивность износа при плоскостном трении в 15 раз. Отмечается повышение средней удельной эксплуатационной экономичности, снижение потерь на трение на 20% и более, увеличение ресурса смазок и масел в 2-3 раза, уменьшение шумовых нагрузок

Наряду с высокой эффективностью геомодификаторов и РВС – технологии, остается множество нерешенных вопросов, связанных с их применением:

1. Установлено, что частицы геомодификатора увеличивают износ вследствие вдавливания (вкрапления) в более мягкой материал неразложившихся частиц геомодификатора и их функционирования как микрорезцов, закрепленных в пластичной матрице.

2. При обработке металлокерамическими материалами наблюдается выделение свободной воды в смазочных материалах, повышение ее содержания в моторном масле всего на 5 % приводит к росту интенсивности изнашивания до 10 раз.

3. Отмечается нарушение температурной стабильности обработанного двигателя вследствие дополнительного теплового сопротивления металлокерамического слоя отводу тепла от поршня через поршневые кольца. Всё это может привести к перегреву двигателя и его отказу, особенно на режимах перегрузок.

4. Наряду со снижением концентраций в отработавших газах окиси углерода CO и углеводородов CH, наблюдается почти двукратный рост выхода окислов азота NO.

5. При применении РВС – технологии в периоды приработки из-за возрастающих температур отмечаются случаи дополнительного сверхнормативного выгорания масла и отпуск термообработанных поршневых колец.

6. Большинство геомодификаторов представляют собой не что иное, как взвесь порошковых материалов в соответствующем носителе, которая, как и порошковые реметаллизанты, может задерживаться фильтрами, центрифугироваться и выпадать в осадок.

В заключение данного раздела следует отметить, что главной проблемой, существенно сдерживающей применение препаратов на основе

геомодификаторов, является нестабильность их свойств, а как следствие, результатов обработки. Все это, прежде всего, обусловлено минеральной основой добавок с наличием множества неконтролируемых примесей и загрязнений.

1.6 Анализ тиботехнических препаратов

По проведенным экспериментам Гительман Д.А.установил, что наиболее эффективными марками трибопрепаратов являются трибопрепараты классов кондиционеры металла и ревитализанты, которые могут исключать образование задиров при обкатке и компенсировать зазоры в результате износа деталей.

По мнению Гительмана Д.А. можно ожидать, что использование кондиционеров металла позволит существенно сократить продолжительность эксплуатационной обкатки машин и продлить послеремонтный ресурс ДВС, а ревитализанты, даже при износе до 70 % ресурсных сопряжений позволят дополнительно продлить ресурс двигателей и агрегатов машин, данное предположение не оспаривается по следующим причинам:

Во-первых работа Гительмана Д.А. основана на исследования и внедрения кондиционеров металла преимущественно марки WAGNER, представителем которой он является сам;

Во-вторых данной работе был сделан упор на исследования с добавлением ревитализантных трибосоставов по ГТМ, РВС технологии.

Необходимо отметить, что в работе Гительмана Д.А. в методике выбора трибосостава для повышения долговечности эксплуатации ДВС, имеются интересующие фарты для дальнейшего исследования.

Для увеличения периода эксплуатации двигателя с целью восстановления зазоров в ресурсных сопряжениях без разборки, является возможность получения в лабораторных условиях изменения диаметра и массы образцов путем наращивания антифрикционного слоя на поверхностях трения образцов [2, 26, 29, 32, 40, 46, 57].

В период эксплуатации ДВС целесообразно применять трибоматериалы, относящиеся к ревитализантам. Основным критерием в оценке необходимости

применения ревитализантов является наличие диагностических признаков или параметров, указывающих на то что ресурсные сопряжения двигателя достигли 40…60 % износа или расходования ресурса. Позже за пределами указанной границы величины износа, применять трибоматериал не рекомендуется, т.к. реанимировать износы близкие к предельным значениям не возможно.

Практика применения РВС-технологий многими организациями [50, 51], показала, что в результате длительной работы механизма толщина слоя на поверхностях в узлах трения деталей может достигать более 0,05 мм. 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 ч, была получена только антифрикционная пленка, толщину которой выявить оптиметром (цена деления 0,001 мм) не удалось.

Критерием продолжительности непрерывной работы машины трения (15…20 ч) 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. [14]

Из различных источников [32] известно, что по своей природе антифрикционная пленка является диэлектриком, поэтому доказательством факта образования антифрикционной пленки послужила методика замера электросопротивления этой пленки на поверхности трения образца.

На основании вышеприведенного анализа можно сформулировать цель исследования, а именно выявить наличие образования сервовидной, антифрикционой, защитной или восстановительной пленки на контактной поверхности трибопар. Исследовать изменение шероховатости поверхности трибопар, при различных режимах трения, с добавлением трибосостава в состав

смазочного материала. Испытания должны проводится при различных режимах трения, и нагрузки. Сделать вывод относительно изменения данных шероховатости поверхностей трибопар и износостойкости.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования.

1. Обосновать выбор трибосостава на основе моторного масла, исключающего отказы из-за образования задиров и существенно увеличивающего межремонтный ресурс.

2. Провести испытания трибоматериалом в составе моторного масла на трибостенде.

3. Подвести выводы и дать экономиическую оценку результатов исследования.

2 ПАТЕНТЫ, РАЗРАБОТКИ ИСПЫТАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

2.1 Обоснование выбор трибосостава

В процессе работы были проведены изыскания трибоматериалов, в результате чего, автор считает наиболее актуальным и значимым исследовать трибоматериалы РВС на основе серпентина. По теоретически заявленным свойствам материала, на основании многочисленных работ и исследований других авторов, данный трибоматериал обладает необходимыми свойствами, которые полностью отвечают поставленным целям и задачам изыскания, а именно образование антифрикционной пленки на поверхности трибопар, увеличение износостойкости поверхности.

Для дальнейшего исследования необходимо подробнее рассмотреть, что же такое серпентин.

Формула серпентина – Mg6[Si4010](OH)8, или 3MgO2SiO22H20 или (MgOH)6Si4011H2O. Серпентин включает несколько минеральных видов: антигорит (Mg, Fe)2+3[Si2O5](OH)4; хризотил (клинохризотил, ортохризотил, парахризотил) Mg3[Si205](OH)4; лизардит Mg5[(OH)8|Si4O10].

А Б

Рисунок.2.1 – Образец серпентинита. А – в природном виде, минерал, Б – очищенный в виде трибосостава «Звезда-3»

Чтобы понять работу серпентинита, нужно знать его состав, из каких примесей состоит и как он может в последствии влиять на качество работ.

Как видно из Таблицы 2.1, серпентиниты содержат 20-40% примесей, которые могут отрицательно влиять на качество состава: магнетит, слюды, гидроталькиты, карбонаты и другие примеси.

Таблица 2.1 – Химический состав серпентинитов

Наименование	Химическая формула	Содержание, масс. %
Серпентин	$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	60-80
Магнетит	Fe_3O_4	5-20
Хлориты	$(Mg, Fe^{2-}, Fe^{3-}) \times [Al\ Si_2O_{16}]\ (OH)_8$	до 10
Слюды	$AB_{2-3}[T_4O_{10}]\ (OH, F)_2$ где A= K, Na, Саидр., B= Al, Mg, Fe, T= Si, Al	до 10
Форстерит	$Mg_4[\ Si\ O_4]$	до 5
Диопсид	$CaMg\ [Si_2\ O_6]$	до 5
Авгит	$Ca\ (\ Mg,\ Fe,\ Al)\ [(\ Si,\ Al)_2\ O_6\ ]$	до 5
Амфиболы	$A_{2-3}\ B_5\ [(Si,\ Al)_4O_{11}]_2\ (OH)_2$ где A= Mg, Fe^{2-}, Саили Na B= Mg, Fe^{2-}, Fe^{3-}или Al	до 5
Гидроталькит	$Mg_6Al_2(OH)_{16}[CO_3]_4H_2O$	до 12
Карбонаты	$CaCO, CaMg\ (CO_3)$ идр.	до 12
Полевые шпаты, например, ортоклаз	$K[Al\ S3O_{10}]$	до 9
Сульфиды, например, халькопирит	$CuFeS_2$	до 2
Оливин	$(Mg,\ Fe)_2[SiO_4]$	до 3
Прочие примеси	Асбест, платина, золото, редкоземельные элементы	до 5

В ходе многолетней практики и наблюдений выяснилось, что такие примеси снижают надежность и долговечность, особенно при высоких нагрузках и температурах. В тоже время применение серпентинов высокой степени очистки

позволяет сохранять положительный эффект до 3-х лет и более. Входящие в состав серпентинита примеси минералов и элементов создают характерный окрас, поэтому только поделочных и облицовочных серпентинитов известны тысячи видов. Подавляющее большинство из природных серпентинитов непригодно для производства добавок к смазочным материалам из-за повышенного наличия абразивов, таких как SiO_2, Fe_3O_4 или других элементов, а также из-за несоответствующего элементного состава или структуры. Таким образом, используя «природный серпентинит» неизвестного состава можно получить отрицательный результат. Серпентинит обладает высокими эксплуатационными характеристиками, близкими к характеристикам гранита. Этот природный камень обладает экологичностью, стоек к истираемости и морозостоек. По радиационным показателям серпентинит пригоден к использованию в жилищном и гражданском строительстве.

В ходе проведенных экспериментов было выяснено, что если серпентинит измельчить в порошок до микронного уровня и поместить в железосодержащую пару трения, то под воздействием давления и возникающих высоких температур происходят преобразования в поверхностном слое металла. В результате его износостойкость повышается в несколько раз.

В зависимости от типа пары трения, геометрии взаимодействующих поверхностей, нагрузки на них и материала, из которого эти пары изготовлены, можно получать различные триботехнические эффекты, влияющие на их работу.

Серпентинит имеет гладкую на ощупь поверхность. Текстура массивная, сланцеватость практически отсутствует. По особенностям минерального состава различают антигоритовые, хризолитовые, бронзитовые, гранатовые и другие серпентиниты.

Существуют следующие способы подготовки природного серпентинита:

1. Способ подготовки природного серпентинита, включающий диспергирование природного минерала, который перед использованием предварительно механоактивируют в смеси с солидолом с пульсацией давления

0,01-1 МПа при температуре 40-100°С, при этом содержание примесей в абразивоподобном порошке находится в пределах 3-10 мас.%. Такое содержание примесей обеспечивает пассивирующие свойства сервовитной пленки, которую получают в результате использования природного серпентина в качестве твердой добавки к солидолу.

2. Способ подготовки состава на основе смеси природных гидратов, таких как серпентин, тальк, пирротин, эстатит, фаялит, включающий диспергирование, обработку в центрифуге и барокамере, в которой создавали режим насыщенного пара с температурой 110°С и обрабатывали в течение 20 мин. Обработка порошка сухим насыщенным паром при одновременном его распылении эффективно обезвоживает его без спекания и делает его воздушным, дополнительно стабилизируя его дисперсность.

2. Способ изготовления состава для обработки пар трения, включающий диспергирование природного гидросиликата магния, обезвоживание и магнитное сепарирование.

2.2 Описание трибологического состава «Звезда – 3»

В ходе исследования выяснилось, что трибосоставы на основе минерального серпентинита в производстве не дали стабильных результатов относительно повышения износостойкости, коэффициента трения, из-за своей не стабильности.

Однако по заявленным сведениям специалистами ООО «МАРКЕТ», г. Екатеринбург, впервые в России был получен чистый серпентин, и его химический состав, который должен обладать стабильностью в производстве, последующем внедрении в трибосостав, а следовательно и лучшим качеством при его взаимодействии с поверхностями трения, должен иметь лучшее образование антифрикционной защитной пленки, что является приоритетной задачей данного исследования. Ниже будет представлено описание данного трибологического состава.

Трибосостав «Звсзда-З» представляют собой смесь минеральных солей природного происхождения. Основа смеси - силикат магния, называемого серпентин. Остальные компоненты смеси - природные минеральные соли кальция, натрия, алюминия, магния, тугоплавких металлов. Крупность частиц Трибосостав «Звезда-З» один микрон. Трибосостав «Звезда-З» химически инертна, нерастворима в воде, невосприимчива к солнечной радиации, озону и кислороду. Вредные выделения газов, паров, излучений отсутствуют.

Трибосостав «Звезда-З» предназначен для снижения сил трения в рабочих парах различных машин и механизмов путём образования на металлических поверхностях деталей высокопрочного поликристаллического стекловидного покрытия.

Механизм образования поликристаллической защитной плёнки на металлической поверхности контактных пар при использовании трибологического состава «Звезда-З»:

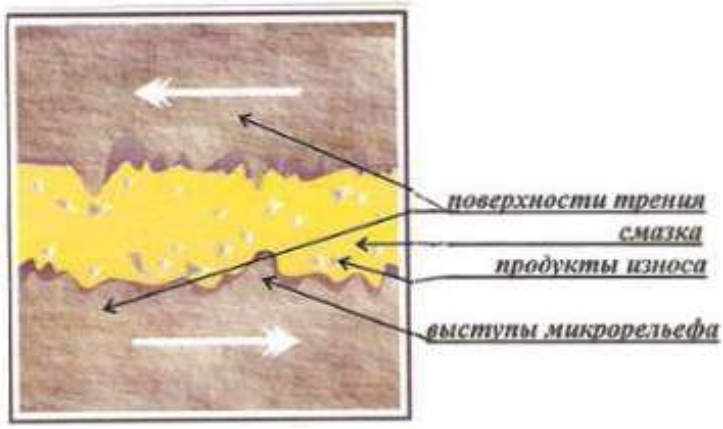


Рисунок 2.2 – Формирования поликристаллической защитной плёнки

1. На микроуровне в основе реконструкции трущихся металлических поверхностей лежит процесс формирования поликристаллической защитной плёнки из элементов поверхностного слоя металла и компонентов трибосостава «Звезда-З» (рисунок 2.2).

2. Механизм образования новой поверхности состоит из нескольких этапов: возниНовение в микросфсрах высокого давления и температуры,

выделение кристаллогидратной воды и как следствие разрушение части молекул компонентов, входящих в состав трибосотава «Звезда-3», создание условий формирования новой поверхности (рисунок 2.3).

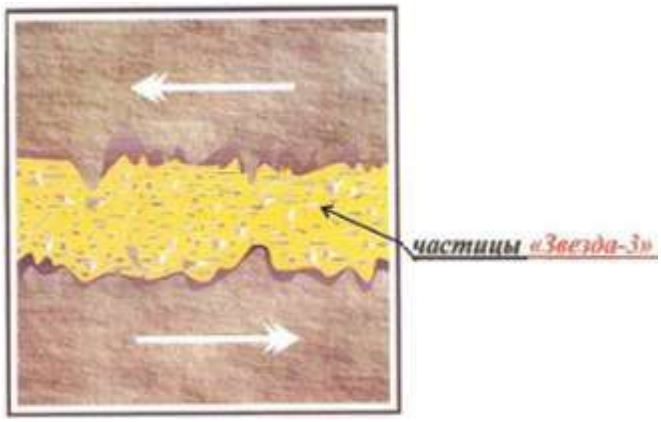


Рисунок 2.3 – Механизм образования новой поверхности

3. Выступы микрорельефа дополнительно размалывают частицы композиций «Звезда-3», которые разрушаются при выделении кристаллогидратной воды и образуют на основе силикатов сложные оксидные соединения, необходимые для протекания реакции образования поликристаллической защитной плёнки. В первую очередь происходит заполнение углублений микрорельефа, затем начинается выравнивание и образование собственно защитной плёнки.

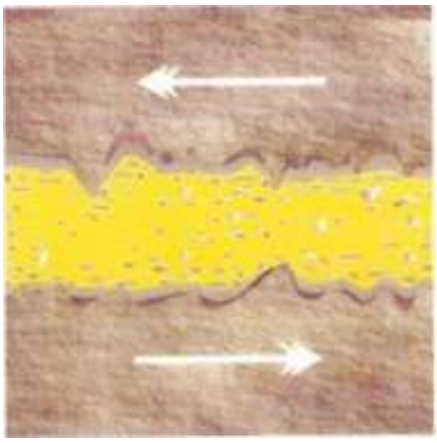


Рисунок 2.4 – Заполнение углублений микрорельефа

4. Процесс формирования новой поверхности приводит к выравниванию геометрии деталей, к оптимизации зазоров. При этом происходит выравнивание внешних контактирующих друг с другом слоев псевдо керамики, которые восстанавливают рельеф изношенных поверхностей и увеличивают её прочность и твёрдость (рисунок 2.5).

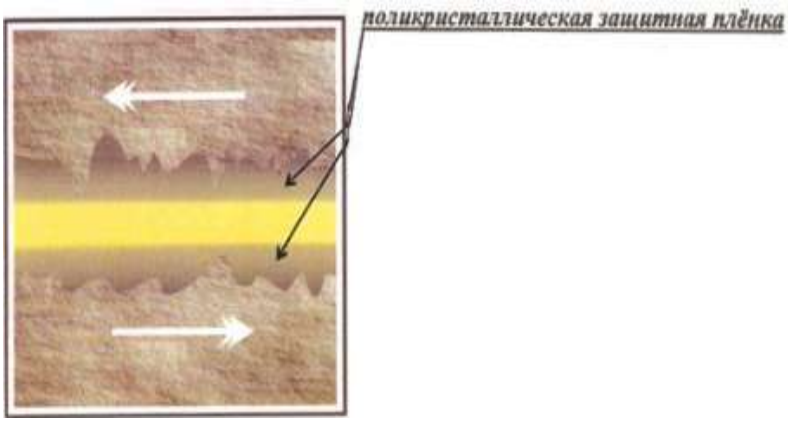


Рисунок 2.4 – Восстановление поверхности, образование поликристаллической защитной пленки

2.3 Заявленные испытания триболгического состава «Звезда-3»

Специалистами ООО «Маркет», были проведены натурные испытания, с применением трибосостава, и сделаны выводы.

Согласно акту независимых испытаний композиции «ЗВЕЗДА-3» с 14.07.2013 г. по 16.07.2013 г. специалистами ИП Белов С.А. и ООО «Экспедиция» были проведены независимые испытания композиции «ЗВЕЗДА-3», разработанные фирмой ООО «Маркет» (г. Екатеринбург), на легковом автотранспорте по выявлению возможности улучшения трибологнческих свойств смазочных материалов. Для испытаний была выбрана машина «Тойота Карина II» VIN: JTILST17100028483 год выпуска не установлен, двигатель- 3S-FE. одометр - 528365 км. Автомобиль с повышенным шумом при работающем двигателе, при движении наблюдается затрудненное переключение передач, при вращении

рулевого колеса наблюдается значительное усилие, от рейки исходит характерный шум.

В систему смазки двигателя 1 грамм наномодификатора «ЗВЕЗДА-3» и дали поработать 15 минут на «холостом ходу». В систему смазки МКПП добавили 0,5 грамма наномодификатора «ЗВЕЗДА-3» и поддавшись давлению со стороны владельца автомобиля под его ответственность, дозволили ему ввести в систему гидроусилителя руля 0.3 грамма наномодификатора «ЗВЕЗДА-3».

Автомобиль был осмотрен. Спидометр: 528934.

Посторонние шумы в двигателе утихли, отмечено улучшение разгонной динамики. МКПП работает в штатном режиме, переключения плавные. Шум со стороны ГУР исчез, усилие снизилось. Водитель утверждает, что снизился расход топлива на 15%.

При тестировании наномодификатора «ЗВЕЗДА-3» измерительный инструмент не применялся, все проверки проведены органометрическим методом. Ресурсные испытания наномодификатора «ЗВЕЗДА-3» не проводились. Выявлены улучшения в работе ДВС, МКПП, ГУР.

Настоящий акт составлен в том, что с 22 августа по 25 августа 2013 года специалистами по ремонту легковых автомобилей Гуриным Э.А. и Ткаченко В.П. были проведены испытания композиции «ЗВЕЗДА-3», производства ООО «Маркет» (г. Екатеринбург), в экстремальных условиях а именно: возможность эксплуатации двигателя легкового автомобиля после его обработки композицией «ЗВЕЗДА-3» без моторного масла и при выключенном вентиляторе охлаждения двигателя.

Для испытания был выбран легковой автомобиль «Москвич-2141» с двигателем от ВАЗ-2106 объёмом 1600 смЗ и мощностью 96 л.с. Государственный номер автомобиля «у 943 ск 96», год выпуска 1998, пробег 123 тыс. км.

До начала испытаний было выполнено следующее: в отдельную ёмкость налили около 50 мл. моторного масла. Затем в крышку от флакона, содержащего композицию «ЗВЕЗДА-3», насыпали до верху крышки композицию «ЗВЕЗДА-3»

и высыпали её в емкость с маслом. ЗаieМ добавили еще 0,5 объёма крышки. Итого в целом в емкость с 50 мл масла засыпали 5 г рамм композиции Звезда-З» и перемешали. После этого смесь залили через горловину в двигатель.

Затем запустили двигатель и на холостых оборотах двигатель работал 30 минут. Через 30 минут после начала работы двигателя на холостом ходу двигатель отключили и полностью слили моторное масло из двигателя. После слива масла отключили вентилятор охлаждения двигателя.

Включили двигатель и на холостых оборотах он работал 20 минут. Затем подняли число оборотов до 1500 об/мин. Двигатель на этих оборотах проработал 30 минут. Затем подняли число оборотов до 2000 об/мин и двигатель проработал 15 минут. Затем подняли число оборотов до 2500 об/мин и снова двигатель работал 15 минут. Затем подняли число оборотов до 3000 об/мин и двигатель работал ещё 15 минут. Затем подняли число оборотов до 5000 об/мин, после чего через 3 минугы двигатель заклинило.

Вывод: Двигатель легкового автомобиля, предварительно обработанный в течении 30 мнут трибосоставом «ЗВЕЗДА-3» в соотношении 5 грамм композиции на 4,5 литра моторного масла, сохраняет полную работоспособность в случае полной потери масла в течении минимум 1 часа и в диапазоне от 1,5 до 2 тыс. об/мин на скорости 40-60 км/час способен обеспечить самостоятельный выезд автомобиля к месту ремонта на расстояние до 50 км. минимум при работающем вентиляторе воздушного охлаждения двигателя.

2.4 Исследования и испытания трибосоставов на основе серпентина

Из значительного количества статей, патентов, обзоров, диссертационных работ, посвящённых применению серпентинита для снижения сил трения, автор считает необходимым остановиться на работе Новиков Р.И. и Леванова И.Г. проведенной в ЮУрГУ (Челябинск). В работе описаны термины состав и характеристики серпентина и серпентинита, их различии, сделан упор на механизм образования защитной плёнки, а так же проведен обзор результатов испытаний других авторов в России, таких как:

Патент № 2135638 от 1999 года, автор Никитин И.В.: «Способ образования защитного покрытия, избирательно компенсирующего износ поверхностей трения и контакта деталей машин», так же ещё две работы этого автора: патент № 2149741 «Способ безразборного восстановления трущихся соединений» от 2000 года, авторы Агафонов А.К., Аратский П.Б., Бахматов С.И., Гамидов Э.А., Никитин И.В., Слободянюк А.А., и патента № 2000100081 от 2001 года «Способ обработки поверхностей трения узлов трения», автор Никитин И.В. В данных работах Новиков Р.И. и Леванова И.Г отметили полное отсутствие профессионального подхода к решению проблем в трибологии. Патенте № 2420562 от 2011 года, авторы Долгополов К.Н., Иванов А.Е., Любимов Д.Н., «Модификатор трения»

Влияние композиций на основе серпентинита на изношенные поверхности изучены недостаточно. Проведённые единичные экспериментальные исследования, как на стендах, имитирующих те или иные пары трения, так и натурные испытания на реальных объектах и машинах, не позволяют сделать однозначные выводы о характере воздействия на узлы трения с точки зрения его остаточного ресурса. Неграмотное использование этих препаратов способно не только резко уменьшить эффект воздействия, но и привести к отрицательным последствиям, вплоть до аварийного разрушения механизма.

Кроме того, выявлена нестабильность положительного эффекта при применении антифрикционных составов на основе серпентинита и главная причина заключена в наличии большого количества примесей, зачастую состав которых и их спектр негативного воздействия на контактную пару пользователям просто не известен.

Новиковым Р.И. и Левановым И.Г были исследованы препараты торговых марок «РВС», «ХАДО», «СУПРА», «НИОД», «ФОРСАН» и «Живой металл». Исследования показали следующее:

1. Основой большинства препаратов – геомодификаторов трения (ГМТ) являются лизардит, кальцит, доломит, клинохлор, мусковит, тальк, кварц, шпинель и т.п.

2. В некоторых препаратах имеется состав фаз, который без изменений и без очистки соответственно входит в состав комплексного природного минерала поделочного камня «Змеевик» Малышевского карьера или «Лиственит» Карельского перешейка, только в измельчённом виде.

3. Некоторые порошки ГМТ содержат в своём составе шпинели, а также кварц, оксиды алюминия и кремния, являющиеся нежелательными твёрдым абразивным материалом в антифрикционном препарате.

4. Не выявлено материалов, являющихся «ноу-хау» (как записано в патентах), таких как: кластеры углерода (например «фуллерены», «нанотрубки»), редкоземельные металлы; «природные фуллерены» благородных металлов, получение которых требует применения высоких технологий и энергозатрат.

5. Главным негативным моментом является то, что даже у одного и того же производителя препарата ГМТ, взятого из разных партий, не удалось найти двух одинаковых составов, что говорит о полном отсутствии какого-либо контроля на соответствие препарата заявленным ТУ и средствам выходного контроля.

Основную массу порошка составляют частицы от 5 до 300 микрон вместо 2-15 микрон, заявленных в ТУ на данные порошки изготовителями, причём частицы от 100 микрон и выше составляют более 70%. В условиях штатной эксплуатации и нормальном разделении поверхностей трения смазочным материалом отмечается некоторое ухудшение практически всех параметров (температуры, коэффициента трения, износа) до 5-10%, чем со штатной смазкой. Не были получены, декларируемые фирмами-изготовителями, аномально низкие коэффициенты трения 0,001 и меньше.

Также не было выявлено на поверхностях трения явных структурных изменений микротвёрдости в поверхностном слое образцов, испытывавшихся как

с препаратом, так и с базовым маслом в течение 1,5 и 25 часов, было отмечено образование рисок (шириной до 0,05 мм и длиной до 1,5-2,0 мм) на стальных не термообработанных образцах (сталь 20Х13, 40Х, 45) по контртелу из серого чугуна марки СЧ20 в первые 15-45 мин испытаний. [7].

Геомодификаторы, попадая в зону трения, вносят структурные изменения в поверхность трения, которые способны её модифицировать в триботехнически выгодном направлении. Принципиальное отличие ГМТ от других присадок, добавок заключается в том, что в триботехническую систему вносится вещество, инициирующее самоорганизующиеся процессы. ГМТ помогает триботехнической системе самой «определиться» какой должна быть структура поверхности, высота модифицированной структуры, шероховатость, волнистость и т.д.

Результатом этих процессов при добавлении ГМТ должен стать модифицированный слой, который отличается от исходного следующими свойствами:

- оптимальной волнистостью;

- шероховатостью;

-структурой с максимальным числом свободных связей, что обеспечивает значительно большую маслоудерживающую способность.

Основными преимуществами геомодификаторов трения являются:

1. Способность создавать динамические защитные плёнки, образованные тонкодисперсными продуктами износа и самого геомодификатора в виде квазисжиженного слоя, что позволяет многократно снижать скорость изнашивания узлов трения;

2. Смещение характеристик ближе к гидродинамическому трению, и, следовательно, снижение механических потерь;

3. Химическая, электрическая нейтральность и экологическая чистота природного продукта;

4. При неизменном спектре режимов работы узла трения модифицированный слой сохраняется вплоть до термоциклического усталостного разрушения.

5. Но наиболее отличительным свойством геомодификаторов трения является возможность восстановления узлов трения двигателей, механизмов и устройств за счёт инициирования самоорганизующихся трибопроцессов в направлении восстановления физических связей поверхностного слоя с тонкодисперсной средой основного материала в смазочной среде ДВС, механизмов и устройств.

Новиков Р.И. и Леванова И.Г. делают обзор трибосотавов ООО «МАРКЕТ», г. Екатеринбург, которыми впервые в России был получен чистый серпентин, и их химический состав.

Они так же приводят исследования на машине трения ЧМТ-1 в Институте машиноведения Уральского отделения Российской Академии наук под руководством и при участи заместителя директора института по научной работе, доктора технических наук Смирнова С.В. и кандидата технических наук Трушиной Е.Б.

Испытания образцов проводились в полном соответствии ГОСТ 9490-75 с шести кратным повторением, со смазкой Литол-24. Результаты представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты испытаний трибосотавов на основе смазки Литол-24

Смазка задира,	Диаметр пятна износа, мм		Средний диаметр пятна износа, мм	Нагрузка, кг
	Повторения	Значения		
Литол-24	1	0,812	0,824	160
	2	0,833		
	3	0,819		
	4	0,826		
	5	0,84		
	6	0,812		

Окончание таблицы 2.2

Смазка задира,	Диаметр пятна износа, мм		Средний диаметр пятна износа, мм	Нагрузка, кг
Литол-24 + серпентин 0,3%	1	0,819	0,795	160
	2	0,805		
	3	0,798		
	4	0,77		
	5	0,777		
	6	0,798		
Литол-24 + «Звезда-2» 0,3%	1	0,707	0,712	168
	2	0,721		
	3	0,7		
	4	0,7		
	5	0,742		
	6	0,7		
Литол-24 + «Звезда-3» 0,3%	1	0,707	0,72	168
	2	0,7		
	3	0,714		
	4	0,742		
	5	0,721		
	6	0,735		

Анализ результатов испытаний образцов:

1. Чистый серпентин проявляет очень слабые трибологические свойства.

2. Введение двух компонентов в чистый серпентин («Звезда-2») обусловило снижение трения на 15% при той же нагрузке задира (160 кг).

3. Введение двух компонентов в композицию «Звезда-2» («Звезда-3») дало возможность получить такое же снижение трения, но при большей нагрузке задира (168 кг).

4. Выявлена тенденция в создании композиций на основе серпентина, обладающих стабильными и ярко выраженными трибологическими свойствами, производство которых возможно в промышленных масштабах.

Были произведены опыты на масле ПС-28 с добавлением трибосостава «Звезда-3» и Звезда-5», на машине трения ЧМТ-1 в Институте машиноведения УрО РАН. Результаты испытаний представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты испытания трибосотавов на масле ПС-28

Смазка задира,	Диаметр пятна износа, мм		Средний диаметр пятна износа, мм	Нагрузка, кг
Масло ПС-28 чистое	Повторения	Значения	0,5623	126-133
	1	0,567		
	2	0,553		
	3	0,567		
ПС-28 + 3% «Звезда-5»	1	0,819	0,795	160
	2	0,805		
	3	0,798		
ПС-28 + 10% «Звезда-5»	1	0,707	0,7443	282-300
	2	0,763		
	3	0,763		
ПС-28 + 10% «Звезда-5»	1	0,728	0,742	>400
	2	0,749		
	3	0,749		

Анализ результатов испытаний образцов:

1. Композиции «Звезда-3» и «Звезда-5» в производственных условиях проявляют свои трибологические свойства и снижают силы трения в два-три раза.

2. Непонятно почему композиция «Звезда-3» проявляет более высокие трибологические свойства по сравнению с композицией «Звезда-5» даже при меньшей концентрации.

3. Требуется более продуманная методика и технология промышленных испытаний с максимальным сопровождением контроля параметров процесса.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что испытания композиций «Звезда-3» и «Звезда-5» на грузовом и легковом автотранспорте, которые

проводились в общей сложности на более, чем 50 машин, ни одного отрицательного случая выявлено не было. Во всех случаях применения особенно композиции «Звезда-3» на двигателях внутреннего сгорания, в механических коробках передач, раздаточных коробках и других узлах наблюдается устойчивое повышение мощности, снижение расхода топлива, уменьшение шума и вибрации, улучшения общей динамики машины при движении.

Для проведения дальнейшего исследования приведены примеры производства и испытания трибоматериалов на основе серпентина.

В патенте № 2179270 от 2000 года, автор Сергачев А.П.: «Способ формирования покрытия на трущихся поверхностях», дано описание приготовленного трибосостава на основе серпентина, и его испытания:

Для приготовления твердосмазочной композиции были использованы следующие компоненты: серпентин в виде смеси из 8 г хризотил-асбеста, 28 г офита, 20 г антигорита и 24 грамма лизардита (в мас. ч. соответственно 1: 3,5: 2,5: 3), 5 г амфибола. 10 г пирофиллита, 5 г ПАВ (ОП-7). Компоненты смешивают в атриторе, контролируя степень помола. Твердосмазочную композицию в количестве 2 г подвергают механоактивации ультразвуком с связующим на основе масла И-8, взятом в количестве 198г, что соответствует составу, размещаемому между трущимися поверхностями, мас. %: твердосмазочная композиция 1, связующее 99.

Испытания, проведенные на машине трения СМЦ-2 по схеме "дисколодка" (диск из стали 45 БрОЦС5-5-5) в индустриальном масле И-8 (объем ванночки 200 мл) при удельной нагрузке 8 МПа и скорости скольжения 0,92 м/с, показали:

1. За период приработки пары трения потеря массы ролика составила 0,0002 г, а потеря массы колодки - 0,0160 г;

2. В период установившегося режима трения за 30 мин потеря массы ролика составила 0,0001 г, а колодки - 0,0032 г;

3. После введения состава за 30 мин масса ролика увеличилась на 0,0022 г, а потеря массы колодки составила всего 0,0004 г.

4. Величина момента сил трения уменьшилась в 14-15 раз по сравнению с периодом установившегося режима трения

Результаты экспериментальных работ по внедрению технологии согласно изобретению свидетельствуют об экономии энергоресурсов в различных отраслях: например, на новых токарных станках, помимо снижения шумов и вибраций, расход электроэнергии сокращен на 35-40%; производительность компрессора 202 ВП-10/8У4 увеличилась на 20%, возросло давление на первой ступени, при этом потребляемая мощность электроэнергии выросла не более чем на 3%, виброаккустические характеристики значительно улучшились; отмечено общее снижение уровня шума в разных режимах работы токарных станков 16К 20 при уменьшении радиального биения шпинделя с 5 мкм до 0,5 мкм.

В патенте № 2414545 от 2009 года, автор Тарасик А.В.: «Способ формирования антифрикционного покрытия», приводится описание испытываемого трибосостава, и его непосредственное испытание. Согласно изобретению Тарасик А.В в способе формирования антифрикционного покрытия трущихся поверхностей, включающем приготовление вещества, формирующего антифрикционное покрытие, в виде предварительно измельченной композиции природных минералов, содержащей минерал из группы серпентинов, клинохлор и алевролит, смешивание упомянутого вещества с техническим маслом и размещение полученной смеси между трущимися поверхностями, приготавливают композицию природных минералов, содержащую в качестве минерала из группы серпентинов -карпинскит, при следующем соотношении компонентов, мас.%: карпинскит40-60, клинохлор10-30, алевролит 20-50.

Композицию природных минералов, содержащую карпинскит, кочубеит, алевролит, измельчают в молотковой мельнице до фракций 0,01-0,5 мм с последующей электромагнитной флотацией для удаления примесей железа. Полученный очищенный материал смешивают с техническим маслом марки МС-20 в жидкостном кавитационном дезинтеграторе в течение 30 минут, при этом массовое соотношение масла и минеральной композиции составляет (60-70):(0,5-

1,0). В смесь технического масла и минеральной композиции может быть добавлено поверхностно-активное вещество (ПАВ) в количестве 2-5% от массы композиции природных минералов для улучшения их дисперсии в масле. Затем смесь отстаивают в течение 12 часов, осадок удаляют, а в образовавшуюся суспензию вводят модификатор - фуллереновую сажу. Дальнейшее смешивание осуществляют в механическом смесителе в течение 15 минут. Полученную смесь отстаивали в течение 6 часов, осадок удаляли, а оставшуюся суспензию для испытаний заливали в механизм с трущимися поверхностями с добавлением чистого моторного масла марки SAE 10W-40 в машину трения модели 2070 CMT-1 по схеме скольжения подвижного ролика по неподвижному ролику. Ролики изготовлены из серого чугуна марки СЧ 20 ГОСТ 1412-85. Испытания проводились в течение 10 часов. Частота вращения подвижного ролика 300-1000 оборотов в минуту. Скорость скольжения 0,8-1 м/с. Нагрузка на неподвижный ролик - 200-600 Н. Для измерения микротвердости сформированного покрытия применялся микротвердометр «Micromet-11», Buchler, Германия. Для измерения шероховатостей поверхностей роликов до и после формирования покрытия использован комплекс «Профиль», Россия. Результаты испытаний приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 Результаты испытания шероховатости, микротвердости сформированного покрытия

Примеры № п/п	Шероховатость поверхности, Ra	Микротвердость, HV	Коэффициент трения	Изменение массы, г
1	0,42	559	0,03	$+3,0*10^{-3}$
2	0,31	626	0,02	$+3,5*10^{-3}$
3	0,44	619	0,03	$+2,9*10^{-3}$
4	0,58	569	0,03	$+3,0*10^{-3}$
5	0,81	392	0,06	$+1,4*10^{-3}$

По исследованию автора реализация способа позволяет существенно уменьшить шероховатость поверхности трения, при этом график кривой Аббота сместился вверх и произошло перераспределение параметров в сторону увеличения масляных карманов примерно в два раза, что обусловливает значительное улучшение удержания масла между поверхностями трения.

Тарасиком А.В Было также осуществлено испытание заявленного способа в отношении поверхностей трения деталей цилиндро-поршневой группы (вкладышей коленчатого вала, поршневого пальца, поршня, поршневых колец), обоймы роликовых подшипников качения коробки передач, зубьев и опорных шеек вала-шестерни масляного насоса, в течение более 10 суток. После этого был осуществлен визуальный мониторинг поверхностей с помощью измерительно-вычислительного комплекса «Latimet-Automatik» производства Германии. Установлено улучшение прирабатываемости деталей и уменьшение количества дефектов (вырывов, микротрещин и пр.). Исчезли грубые риски, оставленные в результате заводской обработки, либо полученные в результате штатной эксплуатации. Кроме того, были исследованы покрытия, образованные при использовании композиции, содержащей менее 40 мас.% и более 60 мас.% карпинскита.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общая методика

Общая методика исследования разработана в соответствии с поставленными целью и задачами и включает в себя разделы:

1. Теоретический;
2. Экспериментальный;
3. Стендовые испытания;
4. Анализ результатов исследования.

Теоретические исследования отраженные выше, включали в себя изучение и анализ литературных сведений об исследуемых объектах, которые базируются на основе современных представлений о процессах трибологии, современных достижений технологических процессов при изготовлении деталей, а также на основе современного технического состояния машин и агрегатов. Теоретические исследования включают в себя разработку теоретических предпосылок по снижению шероховатости на поверхности трибопар и увеличению износостойкости, образованию антифрикционной защитной пленки с использованием трибоматериала РВС на основе серпентина.

Экспериментальная часть работы состоит из исследований, проводимых в лабораторных условиях на экспериментальных стендах и устройствах и в условиях кафедры АТ ЮУрГУ, с учетом имитации трибосопряжений при реальной эксплуатации узлов и механизмов ТС.

Эта часть предусматривает выполнение следующих этапов:

– анализ данных шероховатости поверхности и анализ причин ее изменения в трибосопряжениях;

– выполнение трибологических исследований трибоматериала, в парах трения на трибомашине, при различных режимах трения, нагрузки и температуры;

– разработку и изготовление конструкции для выбора различных режимов трения и применения его с целью образования антифрикционного, защитного покрытия на поверхности трибосопряжений.

Для каждого из этапов исследования разработаны частные методики.

3.2 Методика исследования трибосотава, его влияние на шероховатость поверхностей трения, на образование антифрикционной, защитной пленки

Исследования по влиянию на шероховатость поверхности, при различных режимах трения, нагрузки, температуры и видов смазки, а так же образования антифрикционного защитного слоя на поверхности трибопар проводились на разработанном устройстве для испытания масел при трении [55]. В качестве образцов использовались металлические ролики из стали ШХ45 твердостью 45HRC. Поверхности роликов предварительно были обработаны шлифованием и имели различную величину шероховатости от Ra = 0,260-0,337мкм, до Rmax = 1,733-2,052мкм.

Рисунок 3.1 – Профилограф-профилометр кафедры АВТ ЮУрГУ

В качестве контробразцов были применены ролики из стали ШХ45. Шероховатость поверхностей роликов до и после экспериментов замерялась на

профилометре модели, с программным обеспечением по обработке профилограмм АБРИС - ПМ7 (рисунок 3.1), а так же фиксировалась с помощью электронного микроскопа (рисунок 3.2).

Рисунок 3.2 – Электронный микроскоп АВТ ЮУрГУ

При этом учитывая что антифрикционное, защитное покрытия, из приведенных выше исследовании и работ, должно обладать диэлектрическими свойствами, были произведены замеры сопротивления с помощью мультиметра (рисунок 3.3).

Рисунок 3.3 – Мультиметр MASTERTECH АВТ ЮУрГУ

Для выявления образования на поверхностях трения антифрикционного, защитного слоя, предусматривается проведение экспериментальных исследований, обеспечивающих выявление противоизносных и антифрикционных свойств в трибосопряжении испытываемых образцов.

Наличие этих свойств в масляной композиции позволит не только уменьшит шероховатость и увеличит износостойкость, но и повысит безотказность ресурсных сопряжений и экономить топливо [46-48].

Исследования трибопрепарата в данной работе проводились на машине трения ЗИП – ИИ 5018 (рисунок 3.4), Изготовитель ООО «Завод испытательных приборов», г. Иваново, Россия.

Рисунок 3.4 – Машина трения ЗИП – ИИ 5018 АВТ ЮУрГУ

Область использования машины общие трибологнчсские исследования, включающие моделирование трибосопряжений различных типов, исследование условий и ресурса их работы, получение экспериментальных данных для математического моделирования трибосопряжений и верификации расчетных

моделей. Исследования механизмов трения и трибологических свойств смазочных материалов.

Возможности. Схемы испытаний: «диск диск», «диск неподвижный – диск», «диск – колодка», «вал - втулка». Измеряемые параметры: момент трения, путь трения, температура.

Особенности машины трения заключаются в электромеханическом приводе с плавным регулированием частоты вращения, процессы испытаний и обработки результатов автоматизированы.

В состав машины ИИ 5018 входит: установка испытательная с оперативным пультом, приборная стойка с силовым оборудованием, блок микропроцессорный, программно-технический комплекс, включая программное обеспечение.

Общие характеристики:

– Диапазон измерения силы прижима образца, Н 100 – 5000;
– Диапазон измерения момента трения, Н·м 2 – 20;
– Диапазоны измерения частоты вращения, мин ^{1} 50 – 2000.

Дальнейшее исследование будет выполнено с помощью нескольких схем нагружения трения:

1. Система нагружеия образцов, стальных роликов 45х10мм, скольжение подвижного ролика о подвижный. В данном виде нагружения будут деланы несколько повторений как для обычного масла, так и трибосостава «Звезда-3»;

2. Система нагружения образцов, стальных роликов 45х10мм, путем скольжения подвижного ролика о не подвижный. Будет проведено длительное испытание с трибосоставом «Звезда-3».

3.2.1 Проведение эксперимента по системе нагружения образцов путем скольжения подвижного ролика о подвижный

Для дальнейшего исследования необходимо привести краткий обзор данной системы.

Режим сухого трения - внешнее трение без смазочного материала.

Режим граничного тления - внешнее трение при наличии на поверхностях трения граничного слоя смазки квазикристаллической структуры толщиной до 0,1 мкм. Поляризованные молекулы смазки ориентируются вертикально под действием переменного электрического поля, генерируемого поверхностным слоем атомов твердого тела. Как правило, граничный слой смазки образует несколько слоев молекул, причем связь молекул с поверхностью с увеличением числа слоев ослабевает и становится настолько малой, что тепловые колебания молекул не позволяют создать какую-либо упорядоченную структуру. Граничный слой в нормальном к поверхности направлении выдерживает огромные напряжения, сопоставимые с прочностью материала поверхности твердого тела, и практически не сопротивляются касательным напряжениям. Сдвиговое сопротивление молекулярной связи (при граничном трении) мало и коэффициент трения примерно на порядок меньше коэффициента трения при трении без смазочного материала. Адсорбция молекул смазочного материала не металлической поверхности протекает с большой скоростью, поэтому граничная пленка обладает свойствами восстановления. При недостатке смазки на образование граничного слоя трение переходит в режим сухого трения, при этом коэффициент трения увеличивается в 2-10 раз.

Если не рассматривать процесс приработки, в течение которого изменяется технологическая шероховатость, то при испытаниях на трение износ мы будем иметь дело с равновесной шероховатостью, которая при неизменных скорости и нагрузке имеет вполне конкретное значение и воспроизводится. Коэффициент трения будет иметь минимальное значение при заданных значениях скорости вращения, нагрузки и температуры поверхностей трения.

В зависимости от контурного давления в зоне контакта образцов различают следующие четыре вида контактного взаимодействия [45].

1. Упругий ненасыщенный контакт.
2. Упругий насыщенный контакт.

3. Пластический ненасыщенный контакт.

4. Пластический насыщенный контакт.

Упругий контакт имеет место, когда максимальные напряжения и наиболее внедренной микронеровности меньше твердости по Бринелю менее жесткого элемента пары трения. Реализуется для приработанных поверхностей узлов трения и материалов с низким значением модуля упругости, например, резины.

Пластический контакт имеет место, когда средние нормальные напряжения в зонах касания неровностей достигают значений твердости по Бринелю деформируемого материала.

Ненасыщенный контакт имеет место, когда число контактирующие неровностей меньше числа неровностей на контурной площади контакта.

Насыщенный контакт - число контактирующих неровностей равно т числу на контурной площади контакта [33].

Следовательно, после приработки определяющими будут упругие деформации микровыступов шероховатой поверхности, причем зона этих деформаций будет лежать на границе упругих и пластических деформаций микровыступов поверхностей узла трения. В работе будет изучен коэффициент трения приработанных поверхностей образцов, с этой точки зрения будет рассматриваться только упругий ненасыщенный контакт, который реализуется и является основным для металлической пары трения в период после приработки вплоть до начала катастрофического износа.

Порядок работы и обработка результатов испытания

1. Установить образцы роликов 45мм шириной 10мм, перед установкой зачистить поверхности трения шкуркой и обезжирить;

2. Включить машину ИИ-5018;

3. Задать нагрузку (N = 600 Н) на образцы и число оборотов нижнего вала (n= 600 об/мин). Приработать поверхности образцов в течение 5000 (циклов, контроль осуществлять по счетчику оборотов);

4. Записать значение момента трения. Это значение будет сравниваться между повторениями.

5. Оставив неизменной нагрузку (N = 600 Н), плавно изменять число оборотов n = 200; 400; 600; 800; 920 об/мин. Результаты измерения момента трения зафиксировать;

6. Установить число оборотов n = 600 об/мин и, не изменяя частоты вращения, плавно задать винтом нагружения ряд значений нагрузки на образцы N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600 Н. Результаты измерений момента трения зафиксировать;

7. Установить число оборотов n = 600 об/мин и нагрузку N = 300 Н. зафиксировать момент трения. На образующую поверхность нижнего образца из пипетки нанести одну каплю моторного масла;

8. Не изменяя режима (n и N) следить за моментом трения и дождаться перехода граничного трения в сухое, зафиксировать время;

Не изменяя частоты вращения (n = 600 об/мин), задать ряд значений нагрузки N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600 Н. При этом периодически из пипетки пополнять выгорающее масло на образцах. Результаты измерения момента трения зафиксировать.

Для первой схемы нагружения трибосопряжения будут использованы ролики из стали 45, диаметром 45 мм и шириной 10 мм. Твердость роликов не менее 45HRC. Исходная шероховатость поверхностей трения Ra = 0,3.

Рисунок 3.5 – Образцы – ролики для машины трения ИИ-5018

На рисунке 3.5 представлены образцы – ролики для машины трения ИИ-5018 для определения влияния моторного масла, содержащего различные трибоматериалы, на изменение шероховатости поверхности и износостойкости образцов. Первая схема нагружения образцов представлена на рисунке 3.6., при этом необходимо отметить что оба ролика и верхний и нижний будут находится в движении, а скорость вращения верхнего ролика будет уменьшена на 20%, что даст эффект проскальзывания.

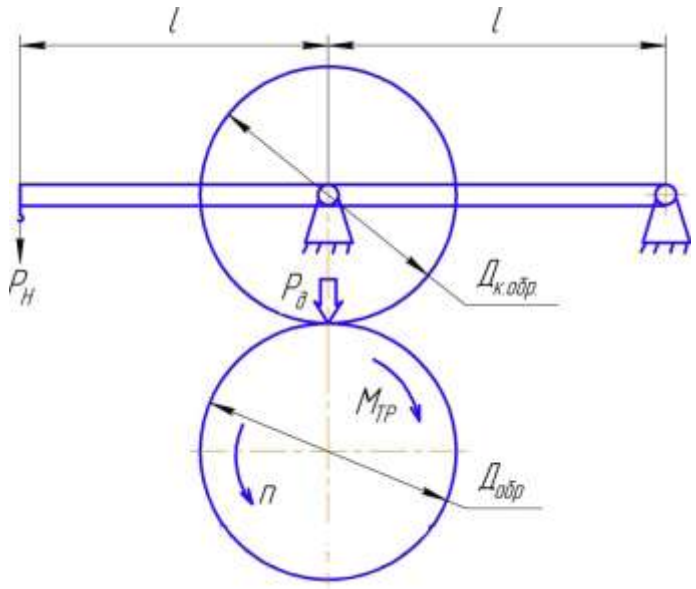


Рисунок 3.6 – Схема нагружения трибосопряжения на ИИ-5018 по определению момента трения и шероховатости образцов при различных режимах трения, нагрузки и частоты вращения вала, как с использованием трибоматериала, так и на чистом масле: РН – сила нагружения, Н; РД – усилие давления, Н

Производится по 6 повторений, при этом после каждого повторения поверхность трения ролика зачищается шкуркой и обезжиривается. Изменение шероховатости образцов определяется с помощью профилографа и электронного микроскопа (рисунок 3.1, 3.2) до и после испытаний.

Предварительными экспериментами установлено, что чем меньше момент трения при большей нагрузке на образцы при трении в смеси масла трибосостава, по сравнению с износом тем же режимом при трении на чистом масле, тем более

правомерным можно сделать вывод об образовании антифрикционного слоя, а следовательно уменьшения шероховатости поверхности, а это будет означать, что трибосостав является эффективным.

3.2.2 Проведение эксперимента по системе нагружения образцов путем скольжения подвижного ролика о подвижный

Для данного типа трибосопряжения была изготовлена масляная ванна емкостью 120мл, так же будут взяты стальные каленые ролики из стали 45, диаметром 45 мм и шириной 10 мм. Твердость роликов не менее 45 HRC. Исходная шероховатость поверхностей трения Ra = 0,3. Схема нагружения образцов представлена на рисунке 3.7.

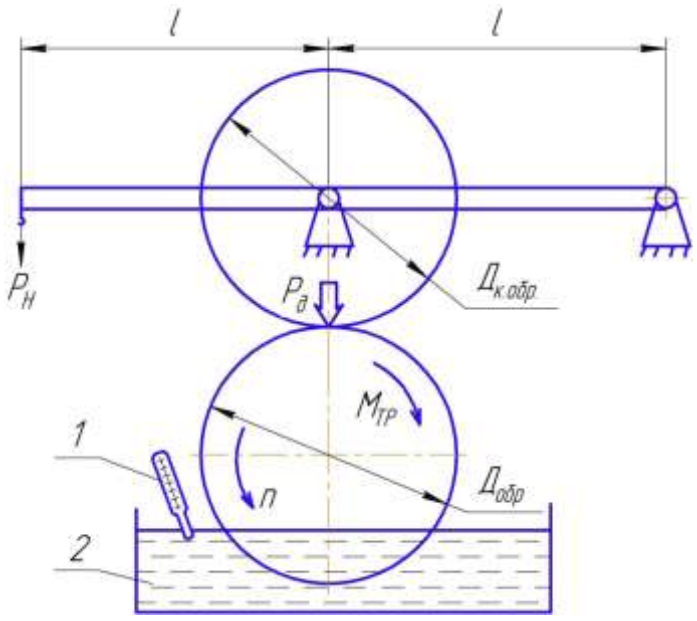


Рисунок 3.7 – Схема нагружения и смазки трибосопряжения на ИИ-5018 по определению момента трения и шероховатости образцов при использовании трибоматериала, содержащегося в масле: 1 – термометр с термопарой; 2 – ванночка с исследуемой смазкой, содержащей трибоматериал; РН – сила нагружения, Н; РД – усилие давления, Н;

Величина шероховатости поверхности трения образцов так же будет определяться помощью профилографа и электронного микроскопа (рисунок 3.1, 3.2) до и после испытаний.

Порядок работы и обработка результатов испытания

1. Установить образцы роликов 45мм. После установки зачистить и обезжирить поверхности образцов, при этом необходимо отметить, что в данной системе происходит скольжение нижнего ролика, по неподвижному верхнему;
2. Установить на машину масляную ванну с трибоматериалом;
3. Отладить программное обеспечение трибомашины;
4. Подключить термопару и отладить термометр;
5. Включить машину ИИ-5018;
6. Задать нагрузку N = 600 Н на образцы и число оборотов нижнего вала n=600 об/мин.;
7. Выйти на рабочий режим температуры от 70-85 °С. Произвести наблюдение за моментом трения.
8. Поддерживать рабочий режим температуры на всем протяжении эксперимента в течении 10часов. Для поддержания постоянного режима можно изменять число оборотов, в зависимости от того, ниже или выше нужна температура, действует прямая зависимость. Следить за изменениями в режиме трения, а именно моменте фиксировать для дальнейшего вывода;
9. На последнем часе испытания модно перейти в режим повышенных оборотов выставив n = 800 об/мин и, не изменяя значений нагрузки на образцы N = 600. Следить за изменениями в режиме трения, а именно моменте фиксировать для дальнейшего вывода;
10. После испытания дать образцам охладится, далее измерить изменение шероховатости контактирующей поверхности, под микроскопом изучить имеющиеся изменения.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СЛОЯ

Следует отметить, что описанный ниже эксперимент проводился с целью выявления на контактной поверхности ролика образовавшегося восстановительного слоя от РВМ на основе серпентина, при различных контактах (скольжения, скольжения с проскальзыванием), при различных нагрузках и температуре в тиборсопряжении ролик-ролик.

4.1 Испытания при скольжении подвижного ролика о подвижный

Для проведения экспериментальной части данного исследования была использована переоборудованная машины трения ЗИП-ИИ 5018, лаборатории «Триботехника» ЮУрГУ (НИУ) (рисунок 3.4).

В данном виде (скольжение с проскальзыванием) нагружения трибопар, на машине трения ЗИП ИИ 5018, на нижней и верхний вал машины были установлены два стальных ролика диаметром 45мм. Оба вала не зажаты, в движении. Для имитации проскальзывания на верхний вал была установлена приводная шестерня большего диаметра, которая бы обеспечивала на 20% меньше скорости по сравнению с нижней.

Проведено 6 повторений в каждом, со следующим порядком работы:

1. С помощью электронного микроскопа были сделаны фотографии шероховатости контактной поверхности роликов;

2. На профилограф-профилометре произведены замеры шероховатости поверхности роликов;

3. Поверхность обоих роликов зачищалась абразивной шкуркой зернистостью 1000мкм, затем обезжиривалась;

4. После подготовительных работ, на трибомашине устанавливались ролики и при нагрузке N 600Н, и частоте вращения n 600об/мин на протяжении 5000 оборотов, происходила приработка поверхностей роликов друг к другу, для

установления равновесной шероховатости. Были зафиксированы показатели момента трения М в заданный промежуток;

5. Установив фиксированную нагрузку N=600Н, плавно изменялось число оборотов n=200; 400; 600; 800; 920об/мин, были сняты показатели момента трения М, для каждой частоты;

6. Установив фиксированную частоту вращения n=600об/мин, плавно измялась нагрузка на образцы N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600Н, от меньшего к большему, были зафиксированы изменения показателей момента трения М;

7. Установив фиксированную частоту вращения n=600об/мин и фиксированную нагрузку N 300Н,дождавшись установления момента трения, на контактирующую поверхность нижнего образца из пипетки была нанесена одна капля смазки, изначально чистого моторного масла (моторное дизельное масло ZIC 5000, 10W-40), в последствии масло с трибосоставом «Звезда-3». Были зафиксированы значения момента трения и время выгорания капли смазки;

8. Для имитации режима граничного трения, на трибомашине были заданы условия: установлена фиксированная частота вращения n 600об/мин, плавно измялась нагрузка на образцы N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600Н, от меньшего к большему. При этом периодически из пипетки на контактирующую поверхность трибопар пополнялось выгорающая смазка, до установления момента трения. Зафиксированы показатели момента трения М.

Данные испытания были проведены как для чистого масла ZIC 5000, 10W-40, так и масла ZIC 5000, 10W-40 с добавлением трибосостава «Звезда-3».

Для удобства все полученные данные были обработаны и сведены в таблицы.

Как видно из таблицы 4.1 при постоянной нагрузке на образцы N=600Н и постепенном увеличении частоты вращения, уменьшался момент трения, наблюдалась обратная зависимость. Необходимо отметить что, не смотря на

количество повторений показатели не имеют каких-либо значительных колебаний, практически одинаковы.

При частоте 200 об/мин М=7,5-7,65, при 400 об/мин М=7,25-7,3, при n=600 об/мин М=6,7-7, при n=800 об/мин М=6,4-6,8, при n=920 М=6,2-6,8Нм.

Таблица 4.1 – Значения момента трения М, Нм, при сухом трении, без масла, с частотой вращения n=200 - 920 об/мин с шагом в 200 об/мин, при нагрузке N=600.

Наименование	Частота вращения n,об/мин, N=600Н				
	200	400	600	800	920
Момент трения М, Нм, в 1-ом	7,5	7,25	6,95	6,8	6,67
Момент трения М, Нм, во 2-м	7,65	7,3	6,9	6,4	6,2
Момент трения М, Нм, в 3-м	7,7	7,4	7	6,6	6
Момент трения М, Нм, в 4-м	7,65	7,3	7	6,5	6,4
Момент трения М, Нм, в 5-ом	7,6	7,3	7	6,8	6,8
Момент трения М, Нм, в 6-ом	7,2	7	6,7	6,5	6,4
Средний момент трения, Нм	7,55	7,258	6,925	6,6	6,411
Коэффициент трения fэ=	0,55925	0,53765	0,51296	0,48888	0,47493

Таблица 4.2 – Значения момента трения М, Нм, при сухом трении, без масла, с фиксированной частотой вращения n=600 об/мин, нагрузке N=100 – 1600 Н, с шагом в 100 Н.

Нагрузка N, Н.	Момент трения М, Нм, в 1-ом	Момент трения М, Нм, во 2-м	Момент трения М, Нм, в 3-м	Момент трения М, Нм, в 4-м	Момент трения М, Нм, в 5-м	Момент трения М, Нм, в 6-м	Средний момент трения, Нм	Коэффициент трения fэ
100	1,5	1,5	1,6	1,4	1,55	1,2	1,458	0,6488
200	2,7	2,7	2,73	2,5	2,7	2,3	2,605	0,578
300	3,95	3,8	4	3,75	3,88	3,75	3,855	0,571
400	5,25	4,9	5	4,6	5	4,5	4,875	0,541
500	6,43	5,86	6,1	5,7	6,15	5,35	5,931	0,527

Окончание таблицы 4.2

Нагрузка N, Н.	Момент трения М, Нм, в 1-ом	Момент трения М, Нм, во 2-м	Момент трения М, Нм, в 3-м	Момент трения М, Нм, в 4-м	Момент трения М, Нм, в 5-м	Момент трения М, Нм, в 6-м	Средний момент трения, Нм	Коэффициент трения fэ
600	7,32	6,66	7	6,7	7,25	6,28	6,868	0,508
700	8	7,4	7,77	7,77	7,5	7,2	7,606	0,482
800	9	8,3	8,6	8,7	8,6	8,1	8,55	0,475
900	9,9	9,2	9,5	9,5	9,45	9	9,425	0,4654
1000	10,7	10	10,3	10,35	10,45	9,9	10,283	0,457
1100	11,55	10,8	11,15	11,15	11,35	10,7	11,117	0,4492
1200	12,31	11,6	12	12	12,3	11,6	11,968	0,4433
1300	12,9	12,45	12,8	12,8	13,1	12,45	12,75	0,4359
1400	13,6	13,4	13,65	13,65	14,1	13,3	13,617	0,4323
1500	14,27	14,27	14,5	14,5	15	13,9	14,407	0,4369
1600	15	15,1	15,35	15,4	16	15	15,308	0,4252

Из таблицы 4.2 видно, что при сухом трении, при постоянной частоте вращения n=600 об/мин, и плавном увеличении нагрузки на образцы, повышались и значения момента трения, наблюдалась прямая зависимость. Полученные данные значения не противоречат теоретическим данным.

Как видно из таблиц 4.1 и 4.2 при значительном повторении эксперимента, показатели момента трения не имеют значительной разницы, что свидетельствует о стабильности изменений в аданных условиях.

Согласно таблице 4.3 были проведены испытания на выгорания одной капли масла ZIC 5000, 10W-40, в данных испытаниях при каждом повторении были получены различные показатели момента трения и время выгорания. Как видно во втором испытании были получены лучшие показатели по времени выгорания 23минуты, а в четвертом самые плохие 15 минут. Момент трения для каждого повторения был так же индивидуален. Данные значения могли сформироваться вследствие того, что смазка на поверхность трения добавлялось в ручную, объем ее мог быть различен, так же смазка могла подаваться в различные места поверхности трения.

Таблица 4.3 – Время выгорания одной капли масла при фиксированной частоте вращения n=600 об/мин и нагрузке N=300 Н

Время t, мин	Момент трения М, Нм, в повторениях					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
1	0,9	0,95	0,9	1	1	1
2	0,98	0,95	0,9	1,14	0,95	0,9
3	1,17	0,88	2,2	1,6	0,8	0,95
4	1,27	0,9	1,3	1,65	0,75	1,1
5	2,35	1,05	1,15	1,5	0,88	1,2
6	1,95	1,2	1,12	2,3	1	1,4
7	1,76	1,51	1,38	1,85	1,89	2,2
8	2	1,15	1,62	2,4	1,92	1,8
9	3	1	2,4	2,6	1,26	1,9
10	3,1	1,05	2,2	2,55	1,3	2,75
11	2,88	1,07	2,45	3	1,45	2,3
12	2,6	1,34	2,15	3,3	1,56	2,2
13	2,6	1,3	2,48	3,95	1,71	2,75
14	2,85	1,22	3,27	4	2,65	2,4
15	3,84	1,4	3,9	4	2,5	2,5
16	4	1,4	4		2,1	3,35
17	4	1,6	4		2,3	3,25
18	4	1,9	4		3,05	3,45
19	4	1,92			2,85	3,85
20		2,35			3	3,9
21		2,8			3,8	
22		3,7			3,9	
23		4,11				

Таблица 4.4 – Значения момента трения М, Нм, при граничном трении, с добавлением моторного масла ZIC, с фиксированной частотой вращения n=600 об/мин, нагрузке N 100 – 1600 Н, с шагом в 100 Н.

Нагрузка N, Н.	Момент трения М, Нм, в 1-ом	Момент трения М, Нм, во 2-м	Момент трения М, Нм, в 3-м	Момент трения М, Нм, в 4-м	Момент трения М, Нм, в 5-м	Момент трения М, Нм, в 6-м	Средний момент трения, Нм	Коэффициент трения fэ
100	0,5	0,42	0,44	0,49	0,47	0,3	0,4367	0,1941
200	0,75	0,66	0,66	0,7	0,75	0,4	0,6533	0,1452
300	0,85	0,9	0,9	0,95	0,95	0,65	0,8667	0,1284
400	0,97	1,12	1,12	1,15	1,16	0,75	1,045	0,1161
500	1,07	1,33	1,34	1,38	1,35	0,95	1,2367	0,1099
600	1,2	1,58	1,58	1,55	1,55	1,1	1,4267	0,1057
700	1,37	1,71	1,72	1,97	1,7	1,25	1,62	0,1029
800	1,6	1,8	1,88	1,78	1,8	1,45	1,7183	0,0955
900	1,66	2	2,1	2	2,15	1,7	1,935	0,0956
1000	2	2	2,23	2	2,35	2	2,0967	0,0932
1100	2,2	2,3	2,4	2,15	2,5	2,1	2,275	0,0919
1200	2,3	2,6	2,7	2,6	2,75	2,6	2,5917	0,096
1300	2,35	3	2,9	3	2,95	2,3	2,7483	0,094
1400	2,57	3,27	3,2	3,27	3,15	2,5	2,9933	0,095
1500	2,75	3,5	3,47	3,5	3,4	3	2,27	0,0969
1600	2,9	3,7	3,7	3,75	3,6	3,6	3,5417	0,0984

Анализируя значения полученные в таблице 4.4, так же как и в таблице 4.1. 4.2, можно сделать вывод об отсутствии каких-либо значительных изменений в моменте трения при граничном режиме трения, независимо от числа повторений, что свидетельствует об идентичных процессах, протекающих в данном трибосопряжении с одинаковыми условиями, на которые не влияют ни какие посторонние факторы. В данных значениях так же просматривается прямая зависимость момента трения от увеличения нагрузки на образцы. Можно отметить, что при граничном режиме трения показатели момента трения по сравнению со значениями в таблице 4.2 значительно меньше, что в принципе

является закономерным, так как испытания проводились при различных режимах трения как со смазкой, так и без нее.

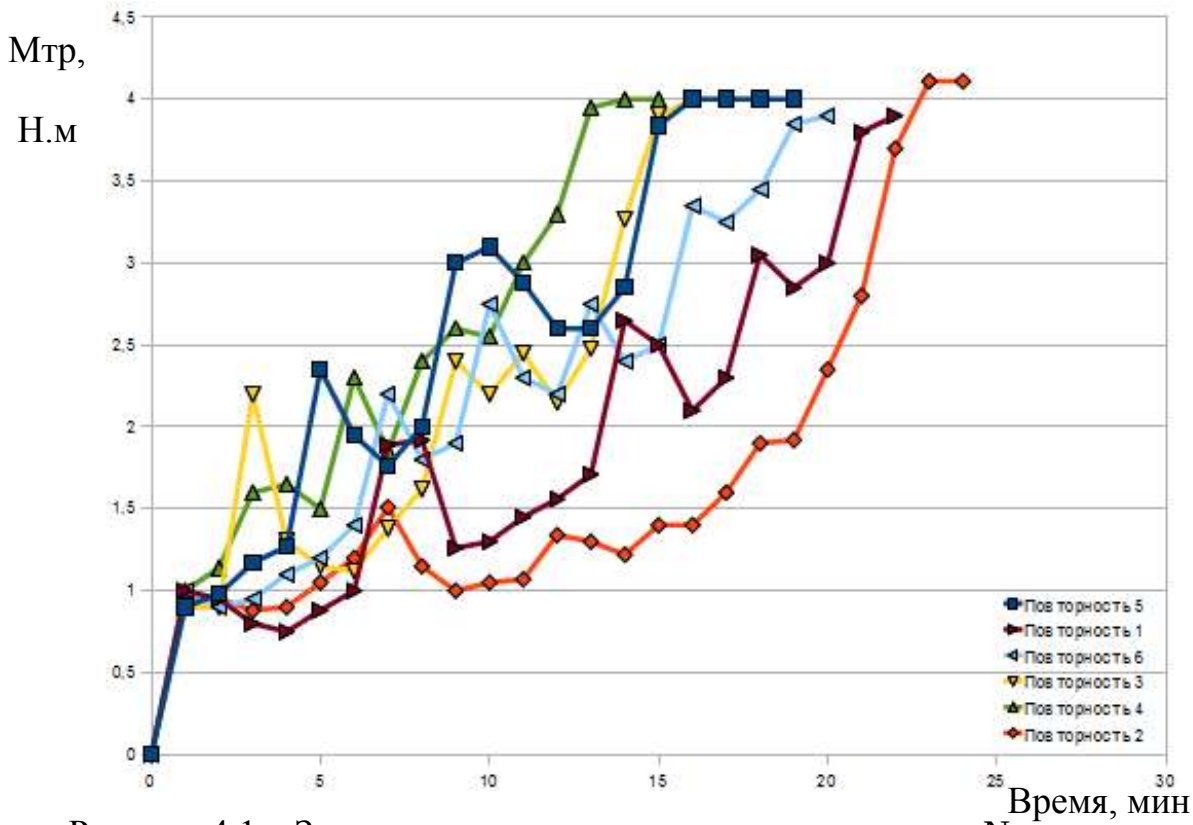


Рисунок 4.1 – Зависимость время выгорания от нагрузки N в различных повторениях

Для наглядного восприятия полученные данные были обработаны, и объединены в графики зависимости время выгорания, от нагрузки N для чистого масла ZIC 5000, 10W-40 (рисунок 4.1), анализировать который не имеет ни какого смысла, так анализ будет полностью идентичен значениям исследованным в таблице 4.4.

Для наглядности так же был построен график зависимости коэффициента трения M от нагрузки N на образцы (рисунок 4.2), при различных режимах трения, как при сухом, так и при граничной смазке с добавлением чистого масла ZIC 5000, 10W-40. Полученные результаты полностью закономерны для обоих

режимов, прослеживается обратная зависимость, чем выше нагрузка N, тем ниже коэффициент трения M, что не противоречит теоретическим исследованиям.

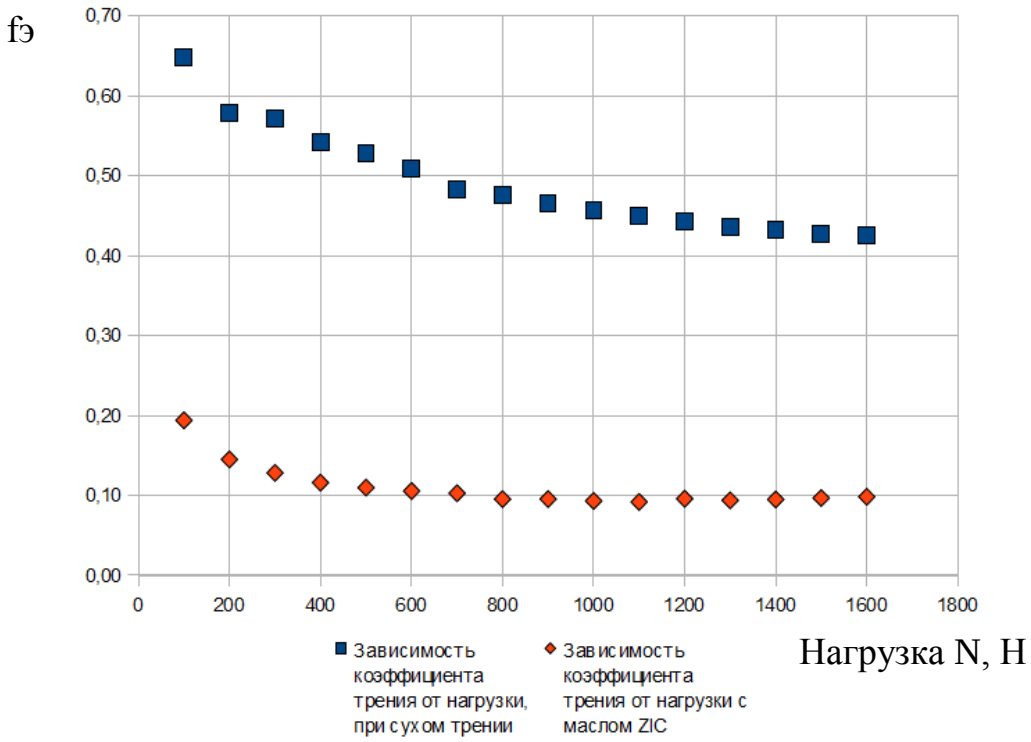


Рисунок 4.2 – Зависимость коэффициента трения от нагрузки, при различных режимах трения.

Дальнейшие испытания были проведены аналогичны способом, при этом в масло ZIC был введен вышеописанный трибологический состав «Звезда-3» производства ООО «Маркет», г.Екатеринбург.

Получены следующие значения приведены в таблицах 4.5–4.8.

Таблица 4.5 – Измерение момента трения М, Нм, при сухом трении, без масла, с частотой вращения n=200 - 920 об/мин с шагом в 200, при нагрузке N=600.

Наименование	Частота вращения n, об/мин.				
	200	400	600	800	920
Момент трения М, Нм, в 1-ом	7,7	7,4	6,9	6,4	6,1
Момент трения М, Нм, во 2-м	7,5	7,5	6,9	6,6	6,4
Момент трения М, Нм, в 3-м	7,2	7	6,8	6,65	6,55
Момент трения М, Нм, в 4-м	7,2	7	6,8	6,8	6,7
Средний момент трения, Нм	7,4	7,2	6,9	6,6	6,4
Коэффициент трения fэ=	0,55	0,54	0,51	0,49	0,48

Таблица 4.6 – Измерение момента трения М, Нм, при сухом трении, без масла, с фиксированной частотой вращения n=600 об/мин, нагрузке N 100 – 1600 Н, с шагом в 100 Н.

Нагрузка N, Н.	Момент трения М, Нм, в 1-ом	Момент трения М, Нм, во 2-м	Момент трения М, Нм, в 3-м	Момент трения М, Нм, в 4-м	Средний момент трения, Нм	Коэффициент трения fэ
100	1,5	1,48	1,45	1,4	1,4575	0,6478
200	2,4	2,4	2,4	2,45	2,4125	0,5361
300	3,75	3,6	3,6	3,7	3,6625	0,5426
400	4,85	4,7	4,77	4,83	4,7875	0,5319
500	5,85	5,7	5,8	5,95	5,825	0,5178
600	6,77	6,64	6,5	6,9	6,7025	0,4965
700	7,58	7,52	7,45	7,9	7,6125	0,4833
800	8,4	8,4	8,5	8,9	8,55	0,475
900	9,2	9,26	9,35	9,9	9,4275	0,4656
1000	10,05	10,1	10,25	10,7	10,275	0,4567

Окончание таблицы 4.6

Нагрузка N, Н.	Момент трения М, Нм, в 1-ом	Момент трения М, Нм, во 2-м	Момент трения М, Нм, в 3-м	Момент трения М, Нм, в 4-м	Средний момент трения, Нм	Коэффициент трения fэ
1100	10,8	10,95	11,25	11,7	11,175	0,4515
1200	11,63	11,8	12,1	12,5	12,008	0,4447
1300	12,4	12,6	13	13,5	12,875	0,4402
1400	13,25	13,4	13,8	14,35	13,7	0,4349
1500	14	14,2	14,55	15	14,438	0,4278
1600	14,8	15	15,4	15,6	15,2	0,4222

Таблица 4.7 – Время выгорания одной капли масла при фиксированной частоте вращения n=600 об/мин и нагрузке N=300 Н.

Время t, мин	Момент трения М, Нм, в повторениях			
	1	2	3	4
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	1,05	0,9	0,95	1
3	0,98	0,85	1,25	1,45
4	0,88	1,01	1,95	2,6
5	0,8	1,25	3,3	1,9
6	0,85	1,45	2,7	1,3
7	0,9	1,59	2,35	1,27
8	1	1,9	1,95	1,2
9	1,05	2,4	2	1,3
10	1,15	2,3	2,25	1,35
11	1,2	2,3	2,6	1,7
12	1,1	2,9	2,65	2,3
13	1,2	3,4	3,7	2,7
14	1,45	3,6	3,8	2,5
15	1,25	3,6	3,8	2,7
16	1,2	3,7		3
17	1,2	3,88		3,25
18	1,15	3,8		3

Окончание таблицы 4.7

Время t, мин	Момент трения М, Нм, в повторениях			
	1	2	3	4
19	1,18	3,8		3,1
20	1,1			3,1
21	1,2			3,2
22	1,6			3,15
23	1,9			3,14
24	2			3
25	2,2			3,2
26	2,2			3,3
27	2			3,4
28	2			
29	2,3			
30	2,9			
31	3,67			
32	4			

Таблица 4.8 – Измерение момента трения М, Нм, при граничном трении, с добавлением моторного масла ZIC с трибологическим составом «Звезда-3» 3%, с фиксированной частотой вращения n=600 об/мин, нагрузке N 100 – 1600 Н, с шагом в 100 Н.

Нагрузка N, Н.	Момент трения М, Нм, в 1-ом	Момент трения М, Нм, во 2-м	Момент трения М, Нм, в 3-м	Момент трения М, Нм, в 4-м	Средний момент трения, Нм	Коэффициент трения fэ
100	0,47	0,48	0,47	0,4	0,455	0,2022
200	0,7	0,73	0,7	0,69	0,705	0,1567
300	0,9	0,88	0,9	0,9	0,895	0,1326
400	1	1,05	1,05	1,1	1,05	0,1167
500	1,24	1,26	2	1,3	1,45	0,1289
600	1,4	1,44	1,4	1,5	1,435	0,1063

Окончание таблицы 4.8

Нагрузка N, Н.	Момент трения М, Нм, в 1-ом	Момент трения М, Нм, во 2-м	Момент трения М, Нм, в 3-м	Момент трения М, Нм, в 4-м	Средний момент трения, Нм	Коэффициент трения fэ
700	1,6	1,6	1,5	1,75	1,6125	0,1024
800	1,8	1,73	1,65	1,9	1,77	0,0983
900	2	1,9	1,83	2	1,9235	0,0954
1000	2,1	2,1	2,03	2,1	2,0825	0,0926
1100	2,3	2,15	2,05	2,25	2,1875	0,0884
1200	2,5	2,35	2,25	2,4	2,375	0,088
1300	2,7	2,6	2,51	2,6	2,6025	0,089
1400	2,9	2,7	2,88	2,8	2,82	0,0895
1500	3,1	2,85	3,2	3,1	3,0625	0,0907
1600	3,3	3,1	3,65	3,45	3,375	0,0938

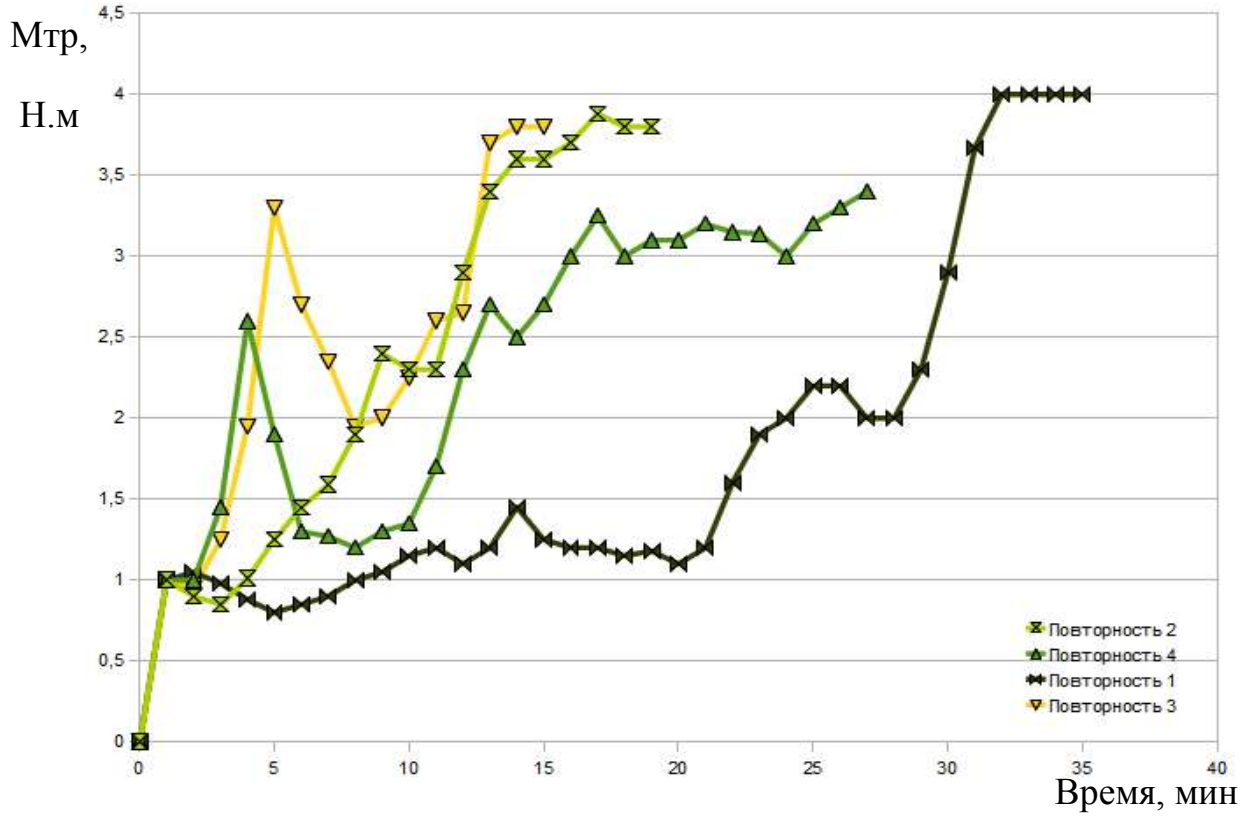


Рисунок 4.3 – Зависимость время выгорания капли масла ZIC с трибологическим составом «Звезда-3», при нагрузке N 600 Н, при подходах 1-4.

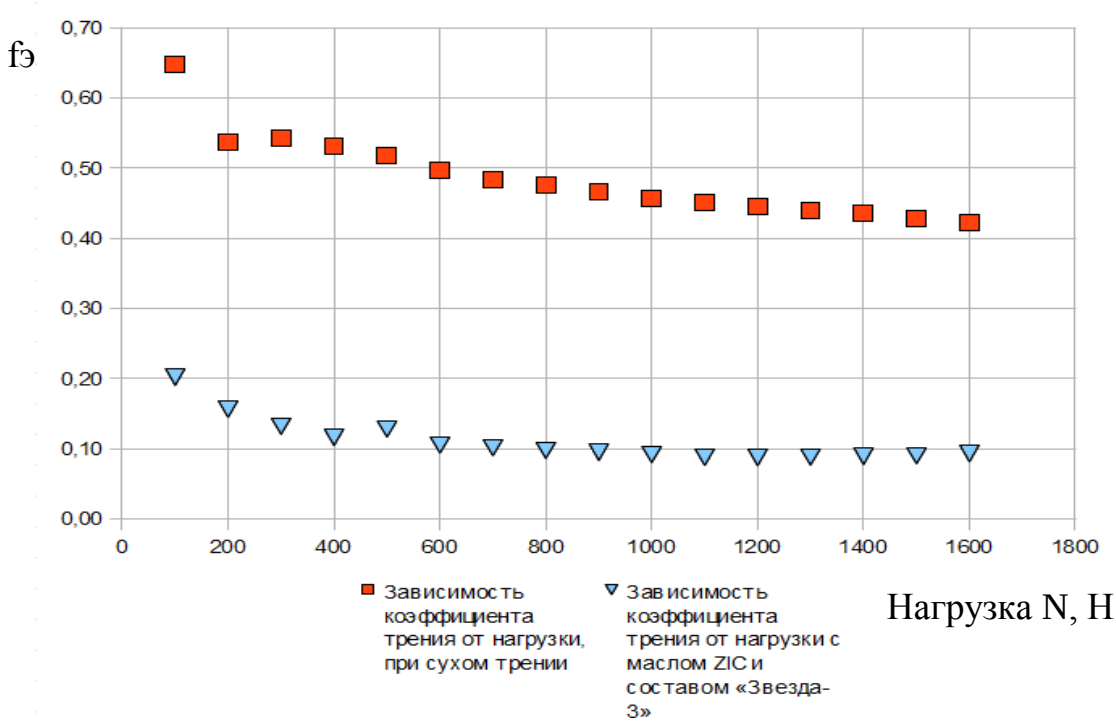


Рисунок 4.4 – Зависимость коэффициента трения от нагрузки, при различных режимах трения.

Анализировать таблицы 4.5 – 4.6, 4.8 не имеет ни какого смысла, так как в них отраженны практически идентичные показатели момента трения М, вообще без каких-либо изменений. Аналогично и графики зависимости представленные на рисунке 4.3 – 4.4. Отдельно хотелось бы сказать про таблицу 4.7, так как при первом испытании масла ZIC с трибосоставом «Звезда-3» 3%, были получены значительно высокие показатели, как и в моменте трения, так и во времени выгорания 32 минуты, относительно такого же опыта с чистым маслом масла ZIC. Данные значения вызвали у автора в изумление, однако при дальнейших повторениях данный результат не был достигнут даже близко, при этом показатели момента трения М и время выгорания как при использовании трибосостава, так и при использовании чистого масла были идентичны.

При данных условиях испытания не зафиксировано каких-либо значимых отличий между обычным маслом ZIC и масла ZIC с добавлением трибологического состава «Звезда-3», были определенные надежды в первом повторении, так как в данном повторении значительно увеличилось время

выгорания масла, а так же за все время были незначительные отклонения в показателе момент трения, однако сделанные следующие испытания свели на нет данные надежды.

После проведенного данного вида испытания были сделаны измерения шероховатости контактных поверхностей роликов (рисунок 4.5-4.8), с помощью профилографа (рисунок 3.1), которые так же не показали каких-либо значительных отличий. Шероховатость поверхности не уменьшилась, осталась на прежнем уровне, при этом следов образования заявленного слоя антифрикционной пленки обнаружено не было, как при органолептическом методе, так и с помощью цифрового микроскопа (рисунок 3.2).

Об отсутствии каких-либо изменений свидетельствуют показатель Ra, которые до испытания составлял 0,258-0,302mkm, после испытания составил 0,260-0,312mkm. Значения показателя Rmax до 1,817-1,881mkm, после 1,925-2,243mkm. Значения показателя Rz так же без значимых отклонений до 1,254-1,447mkm, после 1,925-2,243mkm.

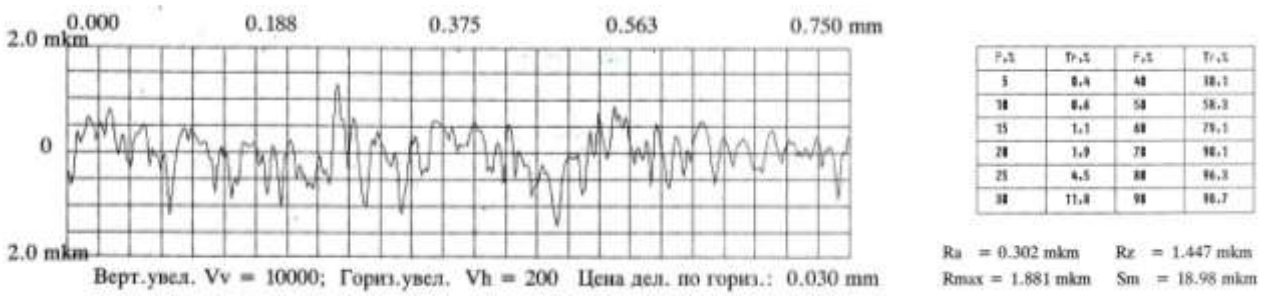


Рисунок 4.5 – Показатели шероховатости поверхности образца, до проведенного исследования

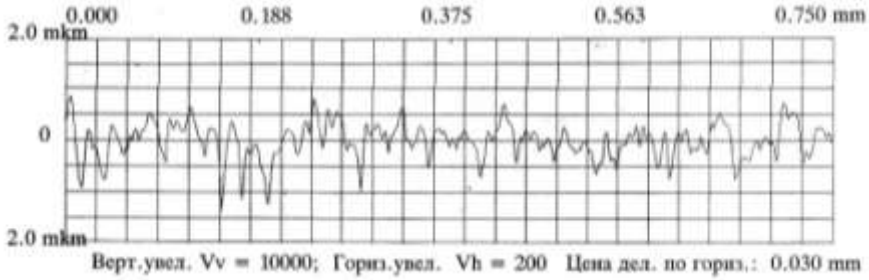


Рисунок 4.6 – Показатели шероховатости поверхности образца, до проведенного исследования

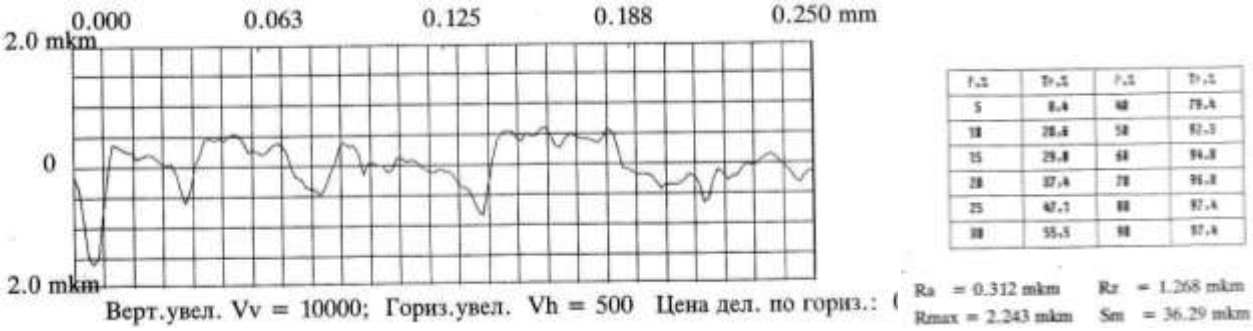


Рисунок 4.7 – Показатели шероховатости поверхности образца, после проведенного исследования

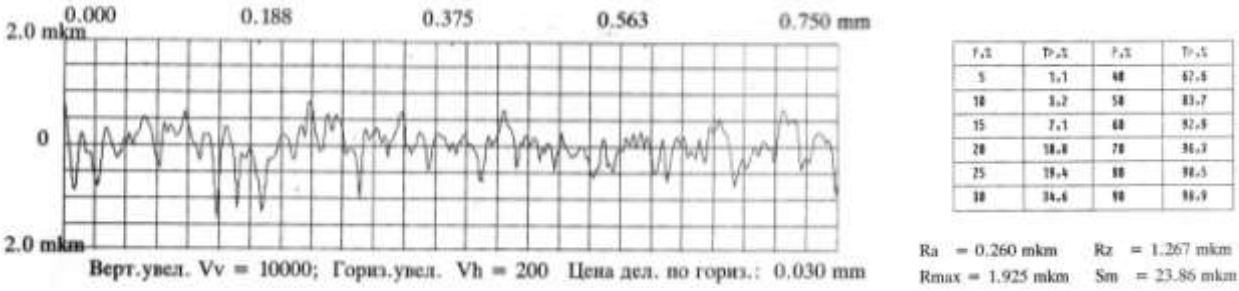
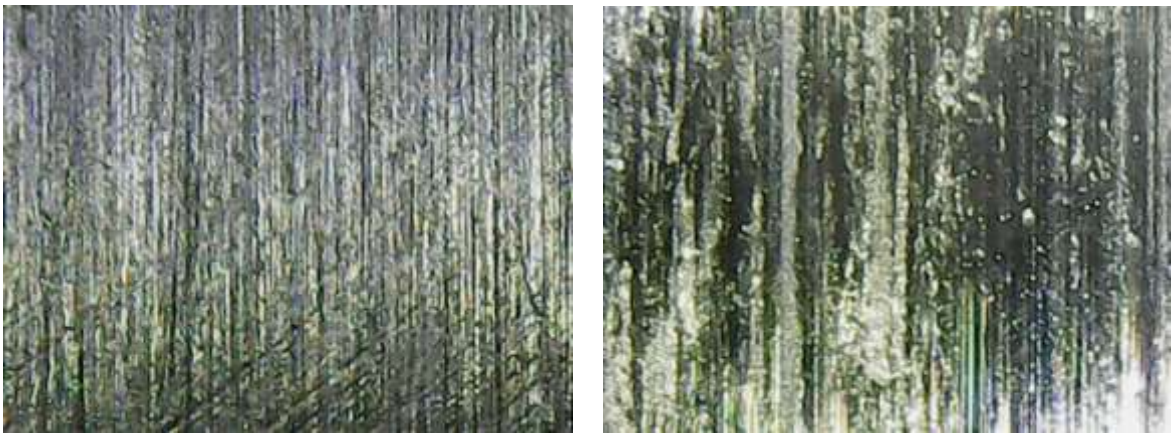


Рисунок 4.8 – Показатели шероховатости поверхности образца, после проведенного исследования

На представленных изображениях на рисунке 4.9 А, Б, выполненных с помощью цифрового микроскопа (рисунок 3.2), не просматривается каких-либо значимых изменений. Отображения свидетельствует о нормальном режиме работы в процессе трения.



А Б

Рисунок 4.9 – Фотографии поверхности трения стальных роликов, А до испытания, Б после

4.2 Испытаний при скольжении подвижного ролика о не подвижный

Для проведения экспериментальной части для данного исследования, так же была использована переоборудованная машины трения ЗИП-ИИ 5018, лаборатории «Триботехника» ЮУрГУ (рисунок 3.1).

В данном виде (чистое скольжение) нагружения трибопар, на машине трения ЗИП ИИ 5018, на нижней и верхний вал машины были установлены два стальных ролика диаметром 45мм, при этом верхний вал был не подвижен, в результате происходило скольжение подвижного ролика о не подвижный.

Величина шероховатости контактной поверхности образцов так же определись помощью профилографа и электронного микроскопа (рисунок 3.1 - 3.2) до и после испытаний.

Порядок работы и обработка результатов испытания

1. Установлены образцы роликов 45мм шириной 10мм., перед установкой поверхности трения зачищены шкуркой и обезжирены;

2. На трибомашину установленна масляная ванна объемом 180мл с трибоматериалом «Звезда-3» в составе масла;

3. Налажено программное обеспечение трибомашины;

4. К контактной поверхности образцов подключена термопара и

термометр;

5. Включив машину ИИ-5018, плавно задается нагрузка на образцы N=600 Н при числе оборотов нижнего вала n=600 об/мин.;

6. В процессе испытания необходимо было поддерживать рабочий режим температуры от 70-85 °С, повышая или понижая число оборотов n=600-800об/мин, оставляя нагрузку постоянной;

7. При данных условиях необходимо поддерживать рабочий режим температуры на всем протяжении эксперимента в течении 10часов. следить за изменениями в режиме трения, в моменте трения фиксировать результаты для дальнейшего вывода;

8. После испытания образцы были охлаждены, далее производились измерения шероховатости контактирующей поверхности на профилографе, и попытки обнаружения образования антифрикционной пленки на поверхности трения с помощью микроскопа.

Что можно сказать о проведенном исследовании, только одно ни чего, за все потраченное зря время не происходило вообще ни каких изменений. Момент трения представлял собой прямую линию, без пульса, остановившейся а отметке 1,4-1,55Нм, и более признаков жизни не подавал. Температурный режим приходилось постоянно поддерживать при числе оборотов n=600 температура не доходила до рабочего объема и останавливалась около 65гр и не росла, приходилось поднимать число оборотов до n=800 но при этом условии температура росла значительно быстро, достигала более 82 гр., чем вызвала опасность перегрева и налипания, приходилось опять снижать число оборотов до 600 об/мин, и так напряжении 10 часов, в общем как было сказано, скучное занятие без результата.

В процессе окончания опыта автор пытал большую надежду в изменении каких-либо факторов, в измерении шероховатости и обнаружении антифрикционной пленки, образование которой заявлял производитель трибосостава «Звезда-3», но и этому не суждено сбыться.

При изменении шероховатости контактирующей поверхности на профилографе, представленных на рисунке 4.10-4.13, так же не было зафиксировано каких-либо значительных улучшений или ухудшений значений показателей, как и в испытаниях при сухом и граничном режиме трения.

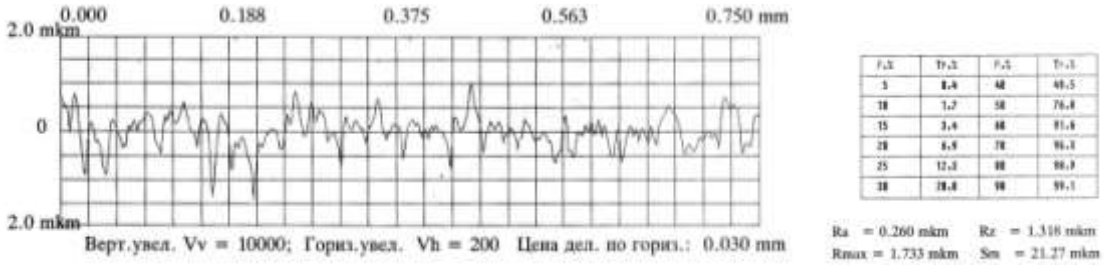


Рисунок 4.10 – Показатели шероховатости поверхности образца, до проведенного исследования

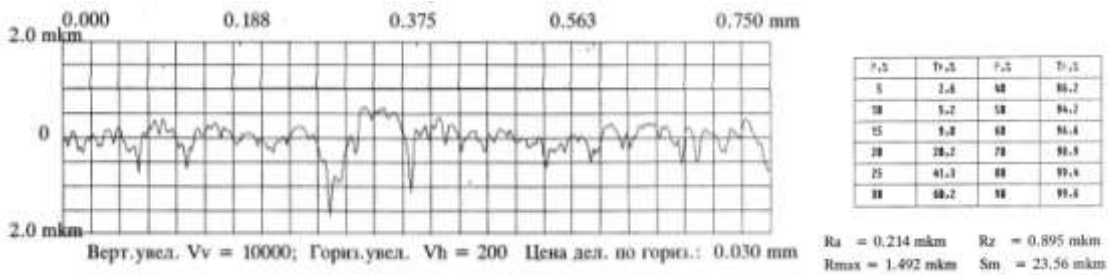


Рисунок 4.11 – Показатели шероховатости поверхности образца, до проведенного исследования

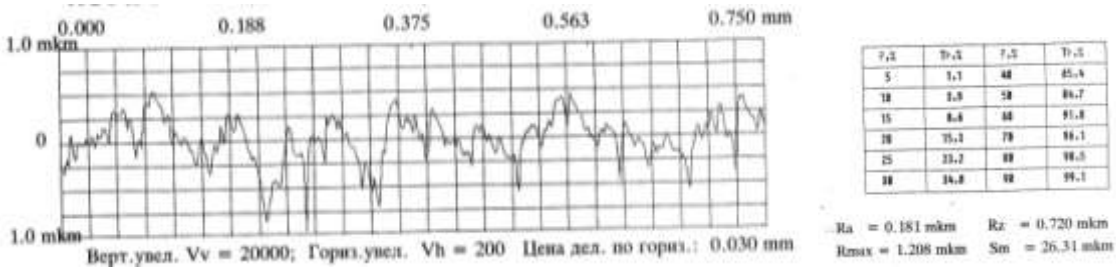


Рисунок 4.12 – Показатели шероховатости поверхности образца, после проведенного исследования

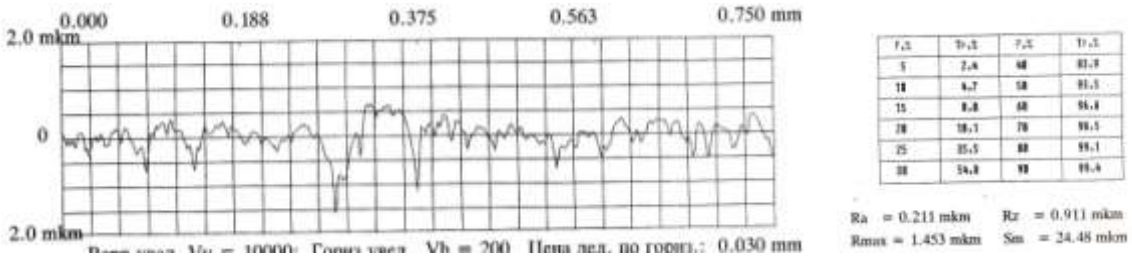


Рисунок 4.13 – Показатели шероховатости поверхности образца, после проведенного исследования

Показатель Ra до испытания составлял 0,214-0,260mkm, после испытания составил 0,181-0,211mkm. Значения показателя Rmax до 1,492-1,733mkm, после 1,208-1,453km. Значения показателя Rz 0,895-1,318mkm, после 0,720-0,911mkm. Пожалуй единственным незначительным изменением стал показатель Rz, но это может объясняться абразивной структурой трибоматериала, которая сгладила неровности.

В результате исследования до проведения данного эксперимента на поверхности трения был отмечен дефект в виде вырыва металла, образовавшийся при предыдущем эксперименте. По задумке автора данный вырыв мог стать наглядным показателем при образовании антифрикционной пленки на поверхности трения.

После эксперимента были сделаны фотоматериалы поверхности трения (рисунок 4.9-4.10), а так же найдена отметка и сделаны подробные отображения поверхности трения. Как не обидно это звучало, но автором данной работы не было зафиксировано вообще каких-либо изменений на поверхности трения. Как видно на поверхности вырыра отсутствуют какие-либо следы наслоения, или образования какого-либо инородного материала, не говоря о антифрикционной пленке, при этом вырыва, как до, так и после испытания имеют четкую, строгую, острую форму без каких-либо изменений, что свидетельствует, что ни чего значимого не произошло.

А Б

Рисунок 4.14 – Изображение поверхности трения выполненные с помощью электронного микроскопа, А до эксперимента, Б после

А Б

Рисунок 4.15 – Изображения поверхности трения выполненные с помощью электронного микроскопа, слева до эксперимента, с права после

В своих исследованиях автор не остановился и пошел дальше воспользовавшись возможностью измерения поверхности трения с помощью мультиметра (рисунок 3.3), так как следуя из теоретического раздела, антифрикционная пленка обладает диэлектрическими свойствами, и способствует сопротивлению. Если честно даже не было ни какого удивления, когда прибор показал 0.0, что свидетельствовало о том, что ни какой вообще даже мизерного размера пленки не образовалось.

Рисунок 4.12 – Показания мультиметра.

При данных видах испытания можно сделать вывод, что трибосостав «Звезда-3» не обладает заявленными заводом изготовителем ООО «Маркет», г.Екатеринбург свойствами и назначением, а следовательно применять его бессмысленно и экономически не целесообразно.

4.3 Проверка результатов эксперимента

Проверка результата проводилась по воспроизводимости, критерию Кохрана.

Под воспроизводимыми экспериментами понимаются такие, в процессе которых в любой момент времени объект исследования и измерительное оборудование можно вернуть в исходное состояние и эксперимент повторить.

Для проверки воспроизводимости эксперимента была проведена серия параллельных опытов.

Параллельные опыты - опыты, проведенные несколько раз при одних и тех же значениях факторов, где к - число параллельных опытов; N - число серий параллельных опытов.

Для каждой серии параллельных опытов вычислено среднее арифметическое значение функции отклика:

$$\bar{y}_j^2 = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} y_{ji}, j = 1...N. \quad (4.1)$$

Затем для каждой серии параллельных опытов вычислена оценка дисперсии:

$$S_j^2 = \frac{1}{k-1}\sum_{i=1}^{k}\left(y_{ji} - \bar{y}_j\right)^2. \quad (4.2)$$

Далее для определения расчетное значение числа Кохрана Gp (критерий проверки воспроизводимости эксперимента), для этого найдена максимальная из оценок дисперсии max и относена к сумме :

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^{N} S_j^2}. \quad (4.3)$$

Значения критерия Кохрана $G_т$ для этого необходимо знать общее количество оценок дисперсий N и число степеней свободы f связанной с каждой из них, причем f=k-1.

Если выполняется условие 4.4, то опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий - однородным:

$$G_p \leq G_T; \quad (4.4)$$

Проанализировав полученные значения можно сделать следующие выводы:

1. Данные подученные из таблицы 4.8 свидетельствуют о том что, показатель G_p = 0,17, а показатель $G_т$ = 0,2, отсюда следует что выполняется условие 4.4 и испытания считаются воспроизводимыми;

2. Данные подученные из таблицы 4.8 свидетельствуют о том что, показатель G_p = 0,21, а показатель $G_т$ = 0,224, отсюда следует что выполняется условие 4.4 и испытания считаются воспроизводимыми;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного выше исследования выявлены теоретические аспекты для экспериментальных исследований трибосоставов РВС на основе серпентина, которые действуя при трении на поверхность, за счет своих свойств могут изменять шероховатость поверхности и создавать защитный слой.

На основании многочисленных теоретических и практических исследований можно автор пришел к выводу о возможном уменьшении шероховатости и увеличения износостойкости поверхностей трения, при различных режимах, с применением в связующем материале трибосоставов РСВ на основе серпентина.

На основании данных исследований автором была сформулирована цель исследования, а именно изучение изменения шероховатости, при применении прибосостава на основе серпентина, и изучения образования защитной антифрикционной пленки, ее влияние на режимы трения.

Выбор трибоматериала был сделан в пользы композиции «Звезда-3», так как по характеристикам заявленным заводом изготовителем ООО «Маркет», г.Екатеринбург, данный состав обладает самыми лучшими свойствами и результативными показателями, подтвержденными, как теоретически, так и практическими экспериментами.

Методики и способ экспериментов были выбраны с применением методических рекомендаций, а так же опираясь на их практическое воспроизведение и получение результатов другими авторами.

В ходе исследования автором было проведена серия экспериментов по основаниям которых можно сделать следующие выводы:

1. В ходе экспериментов, при сухом и граничном режимах трения, данный трибосостав «Звезда-3», не показал каких-либо отличий от обычного чистого масла ZIC 5000;

2. При дальнейшем измерении шероховатости поверхности трения с помощью профилографа, так же не было обнаружено каких-либо изменений, а именно ее снижения или улучшения по всем показателям;

3. При исследовании поверхности трения с помощью электронного микроскопа, не было выявлено следов образования защитной, антифрикционной пленки;

4. При испытаниях в жидкостном режиме трении данный трибосостав «Звезда-3», в ходе эксперимента не показал каких-либо изменений в работе трибомашины и моменте трения;

5. При изменении шероховатости поверхности трения, после эксперимента, на профилографе, так же не было выявлено каких-либо изменений, ее уменьшения или увеличения;

6. При изучении поверхности трения с помощью электронного микроскопа, автор пришел к выводу, что исследуемые поверхности до и после эксперимента идентичны, образование каких-либо инородных материалов или пленки не зафиксировано;

В результате проведенного выше исследования можно сделать вывод о том, что при использовании трибосостава «Звезда-3» в описанных выше условиях был получен отрицательный результат в отношении изменения шероховатости и образования антифрикционной пленки. На основании этого применение данного состава в производственных масштабах, можно поставить под сомнение, а применение его при реальных условиях эксплуатации ТС с технической и экономической точки зрения бессмысленно.

В последующие годы применение наноматериалов в смазке для уменьшения шероховатости поверхности в трибостопряжениях, а следовательно повышение износостойкости узлов и механизмов в целом, будет активно развиваться, поэтому данная тема будет все более и более востребованной и актуальной. Возможно появление более новых трибосоставов, как на основе минеральных соединений с обогащением, так и появлением трибосоставов на

базе синтетических материалов. Автор надеется, что через несколько лет появятся действительно высокотехнологичные материалы, которые можно было применять в технологии РВС, для последующего их внедрения в систему безразборного сервиса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. - М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

2. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

3. Крагельский, И.В. Трение, изнашивание и смазка: справочник: в 2 Н. / И.В. Крагельский, В.В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с. – Н. 1.

4. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Камбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

5. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (Износ и безызносность) / Д.Н. Гаркунов. –М.: Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.

6. Черноиванов, В.И. Нанотехнологии – основа повышения качества обслу живания и ремонта машин / В.И. Черноиванов // Труды ГОСНИТИ. – 2008. – Т.101. – С. 22–33.

7. Черноиванов, В.И. Перспективы применения нанотехнологий как прорывного фактора повышения качества обслуживания и ремонта машин /В.И. Черноиванов // Труды ГОСНИТИ. – 2010. – Т. 105. – С. 4–13.

8. Сафонов, П.Б. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений. Учебное пособие для студентов специальности 170515 / П.Б. Сафонов, А.В. Бегова. – РХТУ им. Д. И. Менделеева, Новомосковский институт, 2004. – 65 с.

9. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, М.Н. Михин. – М.: Машиностроение,1984. – 280 с.

10. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. / Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. - М.: Машиностроение, 1978. - Т. 1.- 400 с.

11. Vencl, A. Diesel engine crankshaft journal bearings failures: Case study / A. Vencl, A. Rac // Engineering Failure Analysis. – 2014. – Vol.44. – pp. 217-

228.Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. В 3-х Нигах. Н. 2. Динамика и конструирование: Учебник для вузов / В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др.; под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 3-е изд. перераб.– М.: Высш. шк., 2007. – 400 с.

12. Труды американского общества инженеров-механиков. Серия F. Проблемы трения и смазки. – 1975. - №2(4). – С. 38-40. – М.: Мир

13. Труды американского общества инженеров-механиков. Серия F. Проблемы трения и смазки. – 1975. - №3(4). – С. 156-165. – М.: Мир

14. Труды американского общества инженеров-механиков. Серия F. Проблемы трения и смазки. – 1976. - №2(4). – С. 74-81. – М.: Мир

15. Труды американского общества инженеров-механиков. Серия F. Проблемы трения и смазки. – 1976. - №1(4). – С. 68-75. – М.: Мир

16. Прокопьев, В.Н. Динамика и смазка трибосопряжений поршневых и роторных машин: монография / В.Н. Прокопьев, Ю.В. Рождественский, В.Г. Караваев и др. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Ч. 1. – 136 с.

17. Прокопьев, В.Н. Прикладная теория и методы расчёта гидродинамических сложнонагруженных опор скольжения: дис. … д-ра.техн.наук / В.Н. Прокопьев. – Челябинск, ЧПИ, 1985. – 455 с.

18. Nikolic, N. An Algorithm for Obtaining Conditional Wear Diagram of IC Engine Crankshaft Main Journals / N. Nikolic, T. Torovic, Z. Antonic, J. Doric // FME Transactions. – 2011. – Vol. 39. – pp. 157-164.

19. Nikolic, N. A procedure for constructing a theoretical wear diagram of IC engine crankshaft main bearings / N. Nikolic, T. Torovic, Z. Antonic // Mechanism and Machine Theory. – 2012. – Vol. 58. – pp. 120-136.

20. Задорожная, Е.А. Применение неньютоновских моделей смазочных жидкостей при расчёте сложнонагруженных узлов трения поршневых и роторных машин / Е.А. Задорожная, И.В. Мухортов, И.Г. Леванов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – №7. – С. 22-30.

21. Балабанов, В.И. Препараты для безразборного восстановления деталей /В.И. Балабанов, В.А. Еремин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. Технический сервис в агропромышленном комплексе. – 2003. – № 1.

22. Индустрия наносистем и материалов: перспективы использования в сельском хозяйстве: научно-аналитический обзор / В.И. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Н. Косилов, Е.М. Басарыгина. – М.-Челябинск, 2007. – 240 с.

23. Безразборный сервис автомобиля (обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление) / В.И. Балабанов, В.И. Беклемышев, А.Г. Гамидов [и др.]. – М.: Известия, 2007. – 272 с.

24. Лялякин, В.П. Наноматериалы влияют на зазоры в ресурсных сопряжениях деталей / В.П. Лялякин, А.К. Ольховацкий // Машинно-тракторная станция. – 2008. – № 4. – С. 46–49.

25. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин: учебное пособие для студентов вузов / А.К. Ольховацкий, В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, Ю.А. Мазалов, Д.А. Гительман [и др.]; под ред. В.И. Черноиванова. – М.: ГОСНИТИ, 2010. – 68 с.

26. Ольховацкий, А.К. Выбор наноматериалов для послеремонтной ускоренной обкатки и продления ресурса двигателей тракторов / А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман, В.В. Ерофеев // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: сборник материалов международного научно-технического семинара им. В.В. Михайлова. – Саратов: КУБ и К, 2012. – Вып. 25. – С. 210–214.

27. Гительман, Д.А. Повышение ресурса трансмиссий машин применением восстановительных, антифрикционных и противоизносных добавок / Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий, Л.Г. Солодкин // Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования: материалы 8-й Международной практической конференции. – Ч. 2. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ГПУ, 2006.– С. 333–336.

28. Волков, Г.М. Промышленная нанотехнология / Г.М. Волков // Труды ГОСНИТИ. – 2010. – Т. 105. – С. 28–31.

29. Гительман, Д.А. Исследование изнашивания пары трения в масляных смесях, содержащих наноматериалы / Д.А. Гительман, В.В. Ерофеев, А.К. Ольховацкий // Наука и производство: сб. научных трудов; под ред. В.В. Ерофеева. – Челябинск: ЧРО РАЕН, 2011. – С. 50–56.

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

31. Лялякин, В.П. К вопросу снижения скорости возрастания зазоров в ресурсных сопряжениях деталей в узлах и механизмах эксплуатации тракторов / В.П. Лялякин, А.К. Ольховацкий // Труды ГОСНИТИ. – 2009. – Т. 103. – С. 111–116.

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

33. Пат. 2135638 РФ. Способ образования защитного покрытия, избирательно компенсирующего износ поверхностей трения и контакта деталей машин / Никитин И.В. – Заявл. 26.11.1998; опубл. 27.08.1999, Бюл. № 21.

34. Пат. 2414545 РФ. Способ формирования антифрикционного покрытия / Сергачев А.П., Павлов К.В. – Заявл. 20.12.2000; опубл. 10.02.2002.

35. Пат. 2414545 РФ. Способ формирования покрытия на трущихся поверхностях / Тарасик А.В. – Заявл. 26.07.2009; опубл. 20.03.2001, Бюл. № 8.

36. Проскурнин, С.А. Восстановление ресурса и параметров точности металлообрабатывающих станков / С.А. Проскурнин, В.К. Терентьев,

37. Наномодификаторы трения для снижения износа / И.М. Макаров, С.П. Ананьев, М.В. Злоказов, В.А. Коротков // Наука – образование – производство: опыт и перспективы развития: материалы научно-технической конф. (6 февраля 2009 г., г. Нижний Тагил). – Т. 3. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 102 с.

38. Ольховацкий, А.К. Новые технологии восстановления работоспособности агрегатов машин и оборудования / А.К. Ольховацкий, Л.Г. Солодкин, А.В. Дунаев // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2005. – № 6.

39. Костомахин, М.Н. Нормирование показателей надежности машин /М.Н. Костомахин // Сельский механизатор. – 2012. – № 1. – С. 6–8.

40. Соловьев, Р.Ю. Современная концепция обслуживания и ремонта машин /Р.Ю. Соловьев, В.М. Михлин, А.В. Колчин // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 1. – С. 12–16.

41. Балабанов, В.И. Триботехнология в техническом сервисе машин. Теория и практика эффективной эксплуатации и ремонта машин / В.И. Балабанов, С.А. Ищенко, В.И. Беклемышев. – М.: Изумруд, 2005. – 192 с.

42. Шабанов А.Ю. Очерки современной автохимии. Мифы и реальность? / А.Ю. Шабанов. – СПб.: Иван Федоров, 2004. – 216 с.

43. Балабанов, В.И. Нанотехнологии. Наука будущего / В.И. Балабанов. – М.: ЭКСМО, 2009. – 256 с.

44. Старосельский, А.А. Долговечность трущихся деталей машин / А.А. Старосельский, Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1967. – 396 с.

45. Чичинадзе, А.В. Трение износ и смазка (трибология и триботехника) /

46. А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун, Н.А. Буше [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

47. Балабанов, В.И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах / В.И. Балабанов, В.И. Беклемышев, И.И. Манохин. – М.: Изумруд, 2004. – 192 с.

48. Дунаев, А.В. Гипотезы механизмов действия ремонтно восстановительных сержитиновых трибопрепаратов / А.В. Дунаев, В.В. Зуев, Д.В. Васильков, Ю.Г. Лавров [и др.]. // Нанотехника. – 2012. – № 4. – С. 58–63.

49. Лялякин, В.П. Применение ремонтно-восстановительных наноматериалов в технчиеском сервисе / В.П. Лялякин, А.К. Ольховацкий // Труды ГОСНИТИ. – 2007. – Т. 100. – С. 140–143.

50. Евдокимов, Ю.А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю.А. Евдокимов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин. – М.: Наука, 1980. – 228 с. 2013.

51. Повышение долговечности машин и ремонтно-технологического оборудования применением методов безразборного ремонта и реновационных технологий: учебное пособие для вузов / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман, С.А. Соловьев, Л.А. Солодкина; под общей ред. В.И. Черноиванова. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015. – 236 с.

52. Сафонов, В.В. Нанодисперсионные металлосодержащие добавки к моторным маслам / В.В. Сафонов, Э.К. Добринский // МТС. – 2004. – № 1. – С. 42–44.

53. Нанотехнологии в агроинженерии: учебное пособие / М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов, В.В. Стрельцов, В.И. Цыпцин, В.В. Сафонов [и др.]; под ред. М.Н. Ерохина. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 300 с.

54. Гаркунов, Д.Н. Триботехника. Краткий курс / Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 308 с.

55. Инструкции и рекламные проспекты по применению наноматериалов: РВС, ХАДО, Ресурс-2000, ФЕНОМ, РиМет, СУПЕРМЕТ, ФОРСАН и др.

56. Бояршинова А.К., Фишер А.С. Теория инженерного эксперимента / Текст – лекций – Челябинск / Издательство ЮУрГУ – 2006. – С. 84 .

57. Гриценко, А.В. Разработка эффективных средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей / А.В. Гриценко, С.С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 111–117.

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

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