

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

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент

_____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Ю. В. Рождественский

_____ 2018 г.

Исследование влияния противоизносных присадок на свойства
моторных масел

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–230403.2018.264.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель,

д.т.н. профессор

_____ Задорожная Е.А.

_____ 2018г.

Автор ВКР

Студент группы П–219

_____ Очеретный В.Г.

_____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент

_____ Дойкин А.А.

_____ 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Очеретный В.Г. Выпускная квалификационная работа. Исследование влияния противоизносных присадок на свойства моторных масел. – Челябинск: ЮУрГУ, П–219, 2018, 85 с., 30 ил., 19 табл., библиогр. список – 40 наим., 6 плакатов.

В ходе работы было изучено состояние рынка моторных масел и многообразие противоизносных присадок в моторное масло. На основании этого была обоснована актуальность данной работы.

Сформирован алгоритм выполнения экспериментальных исследований для изучения влияния противоизносных присадок на свойства моторных масел. Были выбраны образцы моторных масел и изготовлены колодки с разной площадью контакта для проведения экспериментальных исследований.

Проведены экспериментальные исследования по описанному алгоритму и с выбранными образцами масел и колодок.

Экспериментальные исследования были проверены на воспроизводимость и адекватность данных.

По результатам экспериментальных исследований были построены восемь графиков зависимости коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов.

Было выполнено сравнения полученных результатов и сделаны выводы о проделанной работе.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОБЗОР МОТОРНЫХ МАСЕЛ И ПРИСАДОК ДЛЯ НИХ	7
1.1 Базовое масло как основа функциональных показателей моторных масел	7
1.2. Требования к моторным маслам.....	10
1.3. Классификация моторных масел.....	13
1.4. Факторы, влияющие на ресурс моторных масел.....	17
1.5 Описание существующих машин трения.....	22
1.6 Классификация присадок в моторное масло	28
1.7 Присадка WAGNER Universal Micro-Ceramic-Oil.....	30
1.8 Производства моторных масел в России	35
2. МЕТОД ИСПЫТАНИЯ НА ТРЕНИЕ И ИЗНОС	48
2.1 Описание выбранных образцов	48
2.2 Устройство и принцип работы СМЦ-2	54
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСЛЕДОВАНИЯ.....	62
3.1 Проверка воспроизводимости эксперимента.....	62
3.2 Обработка экспериментальных данных, построение кривых Герси-Штрибека	69
3.3 Выводы на основе полученных результатах.....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	86

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт был и остается самым популярным и опасным видом транспорта. Одной из многочисленных причин столь большого числа ДТП являются уровень технической исправности автомобиля. По различным данным до 15% всех ДТП прямо или косвенно происходит по причине технического состояния автомобилей. Из них около 20% это отказы двигателя. Поэтому в настоящее время в машиностроении предпринимаются большие усилия по увеличению надежности и долговечности деталей.

Известно, что подшипники жидкостного трения, в значительной степени определяют долговечность многих механизмов и машин, в том числе двигателей внутреннего сгорания. Важную роль в этом направлении имеет исследование условий работы подшипников скольжения. И как следствие, использование качественного смазочного материала для двигателя, т.е. моторного масла.

На сегодняшний день на рынке моторных масел представлено большое количество брендов-производителей моторного масла, и каждый бренд представлен несколькими классами вязкости подходящими для одинаковых двигателей. Причем, подделка моторного масла является одной из актуальных проблем рынка продаж.

Также существует многообразие брендов-производителей присадок в моторное масло, позиционирующих себя как препараты, улучшающие эксплуатационные характеристики, противоизносные свойства и т.д. Возникает проблема выбора не только качественного, подходящего моторного масла, но и желание улучшить его показатели применением противоизносной присадки.

На основании анализа состояния вопроса была сформулирована цель работы и направление исследования.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		6

1 ОБЗОР МОТОРНЫХ МАСЕЛ И ПРИСАДОК ДЛЯ НИХ

1.1 Базовое масло как основа функциональных показателей моторных масел

Все современные моторные масла состоят из базовых масел и присадок, улучшающих их эксплуатационные показатели. Промышленностью выпускаются моторные масла на синтетической и нефтяной основах и их смеси. Наибольшее распространение получили масла на нефтяной основе. Недостатками минеральных масел на нефтяной основе являются плохие низкотемпературные характеристики, низкая окислительная стабильность. У синтетических масел данные показатели значительно лучше. Преимуществом минеральных масел перед синтетическими являются хорошая растворяющая способность по отношению к присадкам и совместимость с материалами уплотнений.

Получение необходимых эксплуатационных свойств масел обеспечивается введением композиций присадок – антиокислительных, противоизносных, антикоррозионных, диспергирующих, депрессорных и др.

В процессе эксплуатации моторные масла выполняют следующие основные функции:

1. Обеспечение минимального износа и чистоты узлов трения в широком интервале температур;
2. Предотвращение коррозии деталей в процессе эксплуатации;
3. Отвод тепла от трущихся поверхностей и удаление продуктов износа из зоны трения в систему фильтрации.

Базовые масла классифицируют по физико-химическим свойствам, сырьевой природе масла (масла парафинового и нафтенового основания) и способу производства (дистиллятные, остаточные, компаундированные). Дистиллятные масла вырабатываются из вакуумных дистиллятов,

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		7

остаточные - из остатков перегонки нефти – гудронов, компаундированные являются смесью дистиллятных и статочных базовых масел.

Синтетические базовые масла изготавливаются в основном из полиальфаолефинов (ПАО), эстеров (сложных эфиров), эфиров фосфорной кислоты и полиорганосилоксанов, либо их смеси. Сырьем для изготовления полиальфаолефинов служат нефтяные газы – бутулен и этилен. Масла на их основе имеют высокую термическую стабильность и низкую температуру застывания, совместимость с нефтяными маслами и хорошую преемственность к присадкам, применяемым при производстве нефтяных масел. Эстеры представляют собой сложные эфиры – продукты нейтрализации карбоновых кислот спиртами и обладают рядом преимуществ перед всеми другими известными основами:

1. Молекулы эстеров полярны, что обеспечивает «прилипание» молекулы к металлу;

2. Вязкость эстеров можно программировать еще на этапе производства основы: чем более тяжелые спирты используются, тем большей получается вязкость, что позволяет исключить применение загущающих присадок, которые «выгорают» в ходе работы в двигателе, приводя к ускоренному старению масла;

3. На основе эстеров современная технология позволяет создавать полностью биологически разлагаемые масла, так как эстеры являются экологически чистыми продуктами и легко утилизируются;

4. Высокие термические и термоокислительные свойства.

К недостаткам моторных масел на эстеровой основе можно отнести стоимость производства, которая в 5...10 раз дороже минеральной, поэтому они нашли широкое применение в качестве основ и компонентов авиационных синтетических масел, гидравлических и тормозных жидкостей, работающих при температурах от плюс 200°С до минус 60°С. Содержание эстеров в моторных маслах для автомобилей обычно ограничено 3-5%. Эфиры фосфорной кислоты обладают высокими термоокислительной

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		8

стабильностью, смазочными свойствами, вязкостно-температурными характеристиками и способностью к растворению неметаллических материалов. Полиорганосилоксаны отличаются низкой температурой застывания, пологой вязкостно-температурной зависимостью, высокими термоокислительной и термической стабильностью. Масла так же различаются по способу очистки: серной кислотой, адсорбционным, селективным и гидрокаталитическим методами. Основная классификация базовых масел производится по вязкости. Масла разделяются по уровню вязкости условно на маловязкие (3 – 4 сСт), средневязкие (4 – 6 сСт) и вязкие (8 – 9сСт и выше). В виду отсутствия единой нормативно-технической документации на базовые масла на нефтеперерабатывающих предприятиях России они выпускаются по внутривзаводским стандартам и техническим условиям. Физико-химические свойства масел определяются вязкостью, индексом вязкости, температурами застывания и вспышки, цветом и коксуемостью. Перечисленные показатели характеризуют базовую основу масла и являются косвенными. От углеводородного состава базового масла зависят: вязкость, окислительная стабильность, поверхностная активность, растворяющая способность, фракционный состав.

Для придания базовым маслам определенных эксплуатационных свойств их легируют присадками, которые подразделяются на следующие основные типы [4]:

1. Антиокислительные, повышающие антиокислительную устойчивость масел;
2. Антикоррозионные, защищающие металлические поверхности от коррозионного воздействия кислорода, серы и влаги;
3. Моюще-диспергирующие, способствующие снижению отложений продуктов окисления на металлических поверхностях;
4. Улучшающие смазочные свойства (противоизносные, противозадирные, антифрикционные);
5. Депрессорные, понижающие температуру застывания масел;

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		9

6. Вязкостные (загущающие), улучшающие вязкостно-температурные свойства масел;

7. Антипенные, предотвращающие вспенивание масел.

В процессе использования масла длительное время основным показателем качества становится базовая основа, поскольку присадки за это время меняют свои свойства. Изготовитель техники определяет срок замены масла в агрегатах без учета его эксплуатационных характеристик, вида базовой основы и легирующих присадок. Критерием установления сроков замены служит наработка (ч) или пробег (км), что не учитывает фактическое состояние смазочного материала, поэтому ресурс работы масла не используется максимально эффективно, результатом чего является перерасход смазочного материала или поломка агрегата.

1.2. Требования к моторным маслам

Моторное масло является одним из важных элементов конструкции двигателя и может длительно и надежно выполнять свои функции, обеспечивая заданные характеристики трибосопряжений, только при определенном соответствии его свойств тем термическим, механическим и химическим воздействиям, которым оно подвергается в масляной системе двигателя и на поверхностях трения работающих деталей. Все современные масла состоят из базовых масел и, улучшающих их эксплуатационные свойства, присадок. По температурным пределам работоспособности они подразделяются на летние, зимние и всесезонные. Моторные масла должны отвечать многим требованиям, основными из которых являются [4]:

1. Высокие моющие, диспергирующие – стабилизирующие способности, обеспечивающие чистоту деталей двигателя;

2. Высокие термическая и термоокислительная стабильности, позволяющие повысить предельную допустимую температуру нагрева масла в двигателе и увеличить срок его замены;

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

3. Достаточные противоизносные свойства, обеспечиваемые прочностью масляной пленки при высокой температуре и градиенте скорости сдвига, способностью модифицировать поверхности трения при граничной смазке и нейтрализовать кислоты, образующиеся при окислении масла и сгорании топлива;

4. Отсутствие коррозионного воздействия на материалы деталей двигателя;

5. Стойкость к старению, способность противостоять внешним воздействиям с минимальным ухудшением свойств;

6. Пологость вязкостно – температурной характеристики, обеспечение холодного пуска, прокачиваемости при холодном пуске и надежного смазывания в экстремальных условиях;

7. Совместимость с материалами уплотнений, совместимость с катализаторами системы нейтрализации отработанных газов;

8. Высокая стабильность при транспортировании и хранении;

9. Малая вспениваемость при высокой и низкой температурах;

10. Малая летучесть, низкий расход на угар.

Моюще-диспергирующие свойства характеризуют способность масла обеспечивать необходимую чистоту деталей двигателя за счет поддержания продуктов окисления и загрязнения во взвешенном состоянии. Улучшение этих свойств позволяет увеличить количество нерастворимых веществ, удерживаемых в масле без выпадения их в осадок, что снижает лако - и нагарообразование на горячих деталях и повышает допустимую рабочую температуру двигателя (степень форсирования).

Антиокислительные свойства масел определяются их стойкостью к старению. Окисление масел вызывает рост вязкости и коррозионности, повышает интенсивность процесса образования отложений, загрязняющих масляные фильтры и ухудшающих подачу масла к узлам трения. Моторные масла работают в наиболее жестких условиях по сравнению с другими смазками, поэтому для замедления интенсивности процесса окисления

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

необходимо соответствующая очистка базовой основы, использование синтетических базовых компонентов, применение эффективных антиокислительных присадок и конструктивные улучшения двигателя, направленные на обеспечение более эффективного охлаждения масла в процессе эксплуатации. Противоизносные свойства моторных масел зависят от базовой основы, состава композиции присадок и вязкостно-температурной характеристики масла с присадками, которая является определяющей при выборе температурных пределов его применения. Важными показателями для масла являются: вязкость при температуре 130-180°C, зависимость вязкости от давления, свойства граничных слоев и способность химически модифицировать поверхности трения. Важной характеристикой моторных масел является их способность предотвращать коррозионный износ поршневых колец и цилиндров при использовании топлив с высоким содержанием серы, показателем чего в нормативной документации является щелочное число. Антикоррозионные свойства моторных масел зависят от базовой основы, концентрации и эффективности антикоррозионных, антиокислительных присадок и деактиваторов металлов. В процессе эксплуатации коррозионность моторных масел возрастает за счет образования окисленных органических кислот, взаимодействующих с материалами деталей двигателя. Антикоррозионные присадки создают на поверхностях трения защитные пленки, а антиокислители препятствуют появлению агрессивных кислот. Введенные в масла присадки-деактиваторы для образования хелатных соединений с медью предохраняют поверхности от коррозионного разрушения. Вязкостно-температурные свойства моторных масел определяют температурным диапазоном окружающей среды, при котором данное масло обеспечивает пуск двигателя без предварительного прогрева, прокачивание насосами по масляной системе, надежное смазывание и охлаждение деталей двигателя при допустимых нагрузках и температурах. Характеристиками вязкостно-температурных свойств служат кинематическая вязкость, динамическая вязкость и индекс вязкости,

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		12

рассчитываемый по значениям кинематической вязкости масла, измеренной при 40 и 100 °С (ГОСТ 25371-82). Наибольшим температурным диапазоном работоспособности обладают масла на синтетической базовой основе, имеющие индекс вязкости 120-150. Низкотемпературные характеристики масел определяют температуры застывания, при которых они теряют текучесть.

1.3 Классификация моторных масел

Классификация моторных масел определяется их свойствами, к которым относятся:

1. Моющее – диспергирующие – характеризующая способность масла обеспечивать необходимую чистоту деталей двигателя, поддерживать продукты окисления и загрязнения во взвешенном состоянии;
2. Антиокислительные свойства, определяющие стойкость масла к старению;
3. Противоизносные свойства, зависящие от химического состава базового масла, состава композиции присадок и вязкостно – температурной характеристики масла;
4. Антикоррозионные свойства, зависящие от состава базовых компонентов, концентрации и эффективности антикоррозионных, антиокислительных присадок и деактиваторов металлов;
5. Вязкостно – температурные свойства, от которых зависит температурный диапазон окружающей среды, в котором данное масло обеспечивает пуск двигателя без предварительного подогрева.

Классификация моторных масел согласно ГОСТ 17479.1 – 85 подразделяет их на классы по вязкости и группы по назначению и уровням эксплуатационных свойств [2]. Стандартом предусмотрено обозначение моторных масел, представляющее потребителю основную информацию об их свойствах и области применения. Стандартная марка включает следующие

								Лист
								13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ			

знаки: букву М (моторные), цифру или дробь, указывающую класс или классы вязкости (последнее для всесезонных масел), одну или две из первых шести букв русского алфавита, обозначающих уровень эксплуатационных свойств и область применения данного масла. Универсальные масла обозначают буквой без индекса или двумя разными буквами с разными индексами. Индекс 1 присваивают маслам для бензиновых двигателей, индекс 2 – дизельным маслам.

Общепринятой в международном масштабе стала классификация моторных масел по вязкости Американского общества автомобильных инженеров – SAE J 300. Она позволяет более объективно судить о реологических свойствах масел, зависящих от температуры, скорости сдвига и давления

(таблица 1.1) [1].

Таблица 1.1 – Требования классификации SAEJ 300

Класс вязкости SAE	Вязкость (сП), проворачивания при низкой температуре	Вязкость (сП), прокачивания при низкой температуре	Кинематическая вязкость, (сСт), при 100 °С, и малой скорости сдвига		Вязкость (сП), при высокой скорости сдвига при 150°С
			мин	макс	
0w	6 200 при - 35°С	60 000 при -40 °С	3,8	-	-
5w	6 600 при - 30°С	60 000 при - 35 °С	3,8	-	-
10w	7 000 при - 25°С	60 000 при - 30 °С	4,1	-	-
15w	7 000 при - 20°С	60 000 при - 25 °С	5,6	-	-
20w	9 500 при - 15°С	60 000 при - 20 °С	5,6	-	-
25w	13 000 при - 10°С	60 000 при - 15 °С	9,3	-	-
20	-	-	5,6	< 9,3	2,6
30	-	-	9,3	< 12,6	2,9

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

14

40	-	-	12,6	< 16,3	2,9
40	-	-	12,6	< 16,3	3,7
50	-	-	16,3	< 21,9	3,7
60	-	-	21,9	< 26,1	3,7

Кинематическая вязкость характеризует принадлежность масел к тому или иному классу вязкости и определяется при 100°C и невысоких скоростях сдвига (от 20 до 100с⁻¹).

Пусковые свойства характеризует показатель сопротивления при пуске холодного двигателя и возможность достижения пусковых оборотов, определяемый при температурах от минус 10 до плюс 35°C в зависимости от класса вязкости и высоких скоростях сдвига (105 с⁻¹). Прокачиваемость характеризует скорость поступления масла к узлам трения при холодном пуске и определяется при температурах от минус 15 до плюс 40 °C (в зависимости от класса вязкости) и низких скоростях сдвига (10 с⁻¹). Показатель вязкости при высоких температурах (130-180 °C) характеризует вязкость при летней эксплуатации двигателей и противоизносные свойства масел. Уровень эксплуатационных свойств и область применения зарубежные производители моторных масел указывают по классификации API (Американский институт нефти), которая подразделяет их на две категории: “S”(Service) – масла для бензиновых двигателей и “C” (Commercial) – масла для дизелей. Универсальные масла обозначают классами обеих категорий. Классы в категориях указывают буквы латинского алфавита, стоящие после буквы, обозначающей категорию (например: SF, SH, CC, CD или SF/CC, CG/CD, CF – 4/SH для универсальных масел).

Выбор моторных масел для определенных конструкций двигателей осуществляется на специальных одноцилиндровых установках и полноразмерных, особым образом подготовленных, двигателях, причем, чем выше группа по уровню эксплуатационных свойств, тем жестче условия испытания.

Кроме американской системы классификации API и российского стандарта ГОСТ 17479.1 – 85 существует европейская ССМС (старая) и ACEA (новая). С 1998 г. Российская Ассоциация автомобильных инженеров (ААИ) создала собственный стандарт СТО ААИ 003 – 98, в котором отражен минимальный уровень требований автомобилестроителей к моторным маслам.

Классификация ACEA введена в 1996 г. и включает три категории масел по назначению: А – для бензиновых двигателей; В – для дизелей легковых автомобилей; Е – для дизелей. Числа, следующие за буквой, определяют уровень эксплуатационных свойств:

1– энергосберегающие (обеспечивающие экономию топлива) масла для со-временных автомобилей (a1,v1,e1);

2– масла того же эксплуатационного уровня, но не сертифицированы как энергосберегающие;

3– перспективные требования к маслам.

Классификация ААИ предусматривает индексацию, аналогичную европейской (ACEA). Назначение и уровень эксплуатационных характеристик масла определяет буквенно-цифровой индекс. Масла для бензиновых двигателей обозначаются буквой Б, а для дизельных – буквой Д. Группа эксплуатационных свойств определяется цифрой, указываемой за буквой (таблица 1.2)

Таблица 1.2 – Уровень эксплуатационных свойств по ААИ

Классификация масел для бензиновых двигателей	
Категория	Расшифровка
Б1	Бензиновые двигатели грузовых автомобилей
Б2	Бензиновые двигатели легковых автомобилей выпуска до 1996 года
Б3	Бензиновые двигатели легковых автомобилей выпуска после 1996 года
Б4	Бензиновые двигатели, отвечающие требованиям Евро-2
Б5	Перспективные бензиновые двигатели с улучшенными экологическими показателями
Б6	Бензиновые двигатели, отвечающие требованиям Евро-4
Классификация масел для дизельных двигателей	
Категория	Расшифровка
Д1	Дизели грузовых автомобилей без наддува
Д2	Дизели грузовых автомобилей с наддувом, дизели грузовых автомобилей без

	наддува, работающие в тяжелых условиях
Д3	Дизели грузовых автомобилей с наддувом, работающие в тяжелых условиях и имеющие повышенные экологические показатели
Д4	Дизели грузовых автомобилей с наддувом, работающие в тяжелых условиях и отвечающие требованиям Евро-2 по выбросам токсичных компонентов
Д5	Дизели грузовых автомобилей с наддувом, работающие в тяжелых условиях и отвечающие требованиям Евро-3 по выбросам токсичных компонентов

1.4. Факторы, влияющие на ресурс моторных масел

Ресурс моторных масел является важным эксплуатационным показателем, так как оказывает основное влияние на надежность двигателей внутреннего сгорания и зависит от их конструктивных особенностей, степени форсирования, технического состояния цилиндропоршневой группы, режимов работы, состояния системы фильтрации, герметичности масляной системы и от качества самого масла [7-16].

Сроки замены моторного масла при ТО устанавливаются заводами-изготовителями на основе полигонных и моторных испытаний и регламентируется в километрах пробега или моточасах. Использование такой системы не требует применения специальных средств контроля моторных масел в процессе эксплуатации двигателей, но не обеспечивает эффективного их применения, так как, например, на ресурс моторных масел оказывают влияние доливки, вызванные его угаром, а также герметичность масляной системы. При частых доливках масло восстанавливает свои свойства, а значит, ресурс его должен быть увеличен, однако существующая система технического обслуживания этого фактора не учитывает.

Еще одним фактором необходимости определения ресурса моторных масел является появление большого количества минеральных, синтетических и частично синтетических масел. Применение импортных масел без установления их ресурса для конкретных двигателей в существующей системе техобслуживания неэффективно и приводит к увеличению эксплуатационных затрат, так как они не вырабатывают свой ресурс.

Важное влияние на ресурс моторных масел оказывают условия работы, которые характеризуются эксплуатационными и внешними параметрами:

1. Частыми пусками и прогревом двигателей при эксплуатации в холодное время;
2. Переменными нагрузочными, скоростными и температурными режимами;
3. Вибрациями, колебаниями и ударами однократного и многократного действия;
4. Отклонениями от нормального теплового режима работы.

Нагрузочный режим работы двигателей устанавливается в зависимости от запроектированных температурных параметров и условий эксплуатации транспортных средств. В этом случае сохраняется оптимальный расход ресурса как машины в целом, так и смазывающего материала в частности. Увеличенные интенсивности эксплуатации приводят к значительным нагрузкам на силовую установку, что в свою очередь ведет к повышению температурных режимов ее работы, снижению технического и эксплуатационного ресурса механических систем и смазочного материала. Температурный режим работы двигателей является определяющим параметром, влияющим на ресурс применяемого смазочного материала, и оценивается по температуре охлаждающей жидкости и масла на выходе из двигателя. Оценка по тепловому параметру масла производится не на всех транспортных средствах, машинах и механизмах. Вследствие этого основным параметром оценки остается температура охлаждающей жидкости.

Системы смазки пар трения в двигателях по способу подачи масла к трущимся деталям могут быть с подачей масла разбрызгиванием, с непрерывной подачей масла под давлением и комбинированным способом.

При эксплуатации в системе смазки происходят изменения, приводящие к нарушению работоспособности системы. Основными признаками неисправности являются перегрев двигателя, низкое давление в системе смазки, загрязненность смазочного материала и его высокий расход на угар.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		18

Нарушение работоспособности системы смазки снижает ресурс смазочного материала и является основной причиной аварийного выхода техники из строя с дальнейшей длительной невозможностью ее эксплуатации. Снижение давления масла в системе смазки двигателя может быть вызвано недостаточным его количеством, перегрузкой или изношенностью деталей цилиндропоршневой группы, загрязненностью масляных радиаторов, нарушающих теплоотвод, неисправностью редукционных клапанов масляных насосов. В период запуска двигателя в холодный период масло при низкой температуре плохо прокачивается в системе, дольше задерживается в зазорах сопряженных деталей, что приводит к повышенному износу деталей вследствие отсутствия масляной пленки на их поверхностях. Как показывают результаты исследований [13,14], предельное значение температуры масла в подшипниках ограничивается рабочей температурой его антифрикционного слоя, которая составляет 140°C (рисунок 1.1) [14]. Следовательно, такой режим обеспечивается, при температуре выходящего масла от 30 до 110°C. Система смазки надежно работает при температуре масла 55–110°C. Этот диапазон температур соответствует минимальному нагреву масла в подшипниках. Резкое увеличение температуры масла в подшипниках, когда температура масла на выходе из двигателя превышает 90°C, объясняется ухудшением теплоотвода от подшипников.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		19

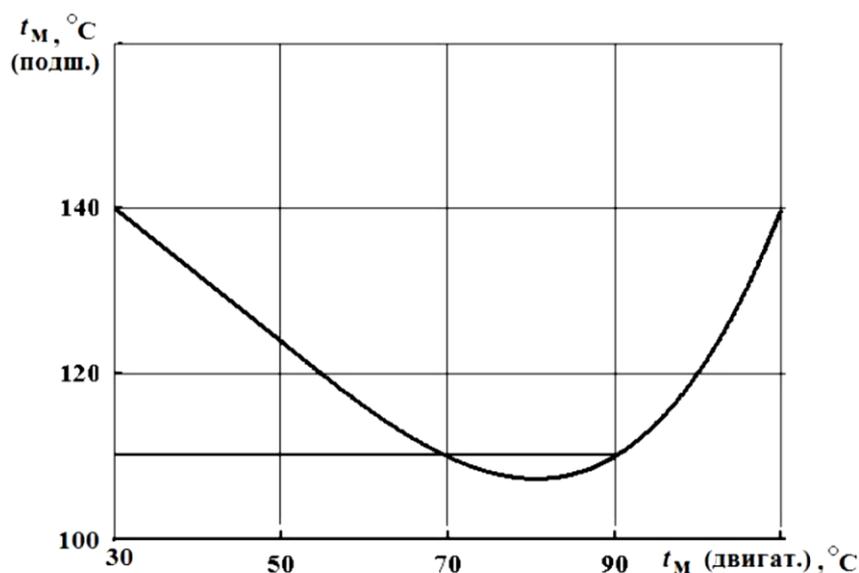


Рисунок 1.1– Зависимость температуры масла в подшипниках от температуры масла на выходе из двигателя

Продолжительная эксплуатация масла в системе смазки приводит к изменению его состава и прежде всего с разжижением масла топливом, как следствие нарушение тепловых режимов работы двигателя и значительным его износом, а также загрязнению продуктами окисления, продуктами сгорания топлива (сажей), частицами износа трущихся деталей и другими эксплуатационными примесями. Кроме того, происходит уменьшение количества смазочного материала в системе вследствие испарения и угара. Все эти показатели ухудшают физико-химические свойства масел и, как следствие, снижают его эксплуатационный ресурс.

Воздействие внешней среды на ресурс смазочного материала оценивается запыленностью воздуха, влажностью, резкими перепадами температур, характерными для многих районов, в которых эксплуатируется техника. Степень запыленности оценивается содержанием пыли в единице объема воздуха. Пыль является причиной интенсивного износа трущихся деталей, а попадая в смазочный материал является основным компонентом его загрязнения. Работа двигателей в условиях запыленности приводит к повышению тепловых режимов эксплуатации. Процесс теплоотвода нарушается вследствие оседания пыли на агрегатах, узлах и механизмах.

Поддержание работы смазочной системы в заданных параметрах предусматривает необходимость проводить в процессе эксплуатации непрерывное удаление из масла вредных примесей. Очистка масла в системе производится фильтрацией, центрифугированием и отстаиванием. Степень очистки масла зависит от конструкции системы фильтрации и предусматривает периодичность ее технического обслуживания.

На определение установленных ресурсов смазочных материалов влияют периодичность технического обслуживания систем смазки, качество и чистота применяемых масел, герметичность систем и отсутствие подсоса неочищенного воздуха, своевременная промывка фильтров, правильная регулировка топливной аппаратуры и карбюраторов, контроль паровоздушных клапанов систем охлаждения. На основе проведенного анализа установлено, что ресурс моторных масел зависит от их сопротивляемости механическим, температурным и химическим воздействиям, герметичности масляной системы, частоты доливов, степени износа цилиндропоршневой группы, производительности системы фильтрации.

Основным направлением для увеличения ресурса и надёжности двигателей является организация проведения периодического контроля состояния моторного масла. Особого внимания заслуживают разработки методов и средств контроля термоокислительной стабильности и противоизносных свойств смазочных материалов, которые по сравнению с другими более перспективны и позволяют получить дополнительную информацию об их работоспособности в конкретных условиях эксплуатации техники. Кроме того, термоокислительная стабильность может служить исходным показателем при разработке математических моделей определения ресурса любых смазочных материалов. Поэтому основным направлением для увеличения ресурса и надёжности двигателей является организация периодического контроля состояния моторного масла.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

1.5 Описание существующих машин трения

Для испытания радиальных опор скольжения применяют экспериментальные установки (стенды), которые позволяют провести испытания на недорогих образцах, при этом изменяя режимы работы подшипников.

Развитие конструкции четырехтактных двигателей, сопровождающееся повышением давления в камере сгорания и других параметров, что привело к увеличению нагрузки на коренные и шатунные подшипники коленчатого вала. Для опытной проверки подшипников скольжения необходима такая установка, которая позволила бы проводить испытание подшипников при нагрузках, которые превышают возникающие в двигателе нагрузки или близким по значению к ним.

На кафедре Автомобильный Транспорт и Сервис Автомобилей имеются стенды для изучения подшипников скольжения, такие как: ИИ 5018, УМТ 2168, СМЦ-2 СМТ-1. Во основном это стенды - машины универсальные, предназначенные для испытания фрикционных, антифрикционных и смазочных материалов на трение и износ. Изменение режимов работы возможно только по частоте и нагрузке.

Машина трения ИИ 5018 [33] (рисунок 1.2).

Привод машины электромеханический с плавным регулированием скорости. Измеритель момента трения на вращающемся валу нижнего образца - электромеханический, с бесконтактным токосъемом. Прижим образцов - пружинный с электрическим измерением силы. Охлаждение - водяное (от водопровода).

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		22

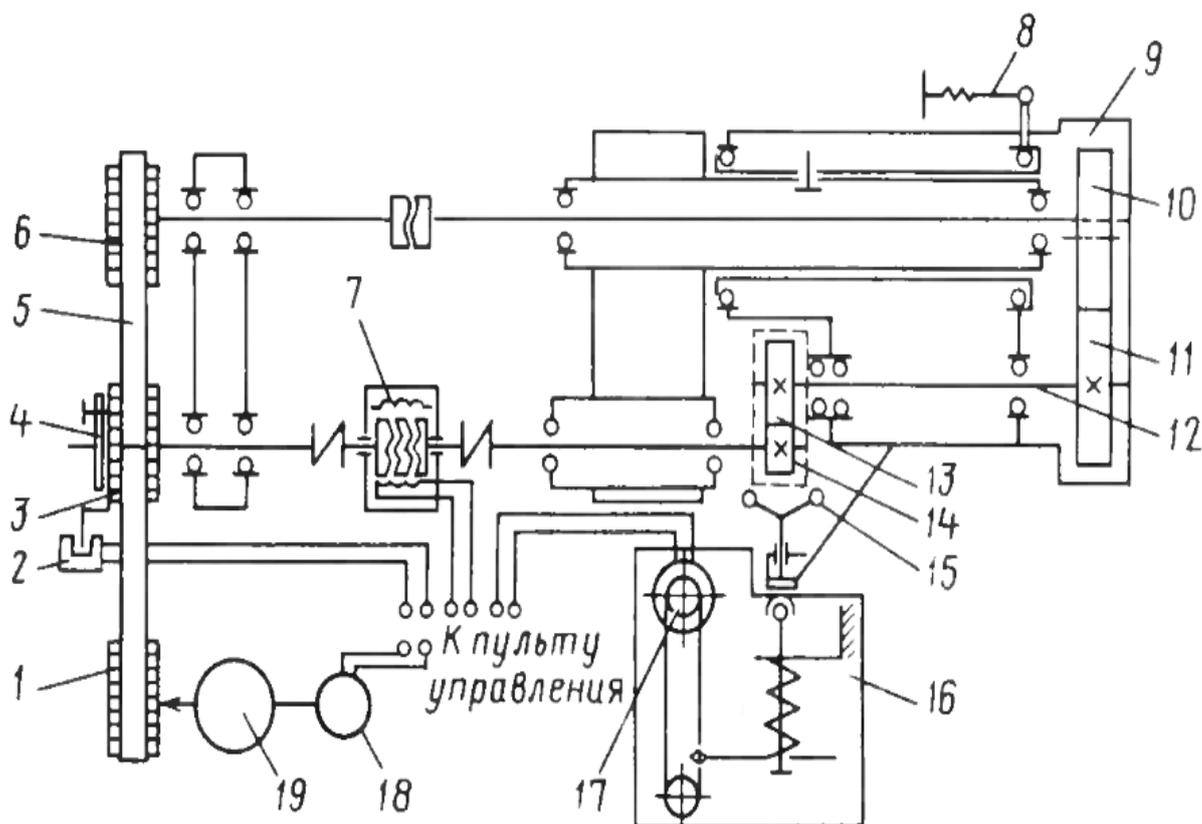


Рисунок 1.2 – Машина трения ИИ5018

Она может работать по схеме с замкнутым или открытым силовым контуром по трем кинематическим схемам. От электродвигателя 19 через шкив 1 и плоскозубчатую ременную передачи 5 вращение передается одновременно на верхний образец 13 через шкив 6 и на нижний 14 через шкив 3. Образец 13 установлен на валу 12 и откидной каретки, внутри которой имеется зубчатые колеса 10 и 11. Каретка уравнивается пружинным механизмом 8. На валопроводе нижнего образца установлен упругий торсион 7 датчика момента трения с бесконтактным токосъемником, сигнал с которого выводится на пульт.

Частота вращения измеряется с помощью тахогенератора 18 на валу двигателя 19, а число оборотов нижнего образца с помощью бесконтактного датчика 2. Для защиты машины от перегрузок служит сменный предохранительный штифт 4.

Обеспечиваются испытания по схемам [34]:

- Диск — диск. При различных коэффициентах проскальзывания, в т. ч. при 0% (технически чистое качение) и 100% (верхний диск неподвижен);
- Диск — колодка. Моделирование тормозов;
- Вал — втулка.

Испытания со смазкой проводятся в специальной камере.

В процессе испытаний измеряется момент трения, сила прижима, температура, частота вращения, путь трения. Машина устанавливается на виброопорах, специальный фундамент не требуется [33].

К недостатком данной машины можно отнести высокую стоимость равную 1.5 млн. руб., полный вес установки (550 кг), также для работы необходим подвод воды с давлением равным водопроводному.

К данному типу установок относят универсальную машину 2168 УМТ, которая предназначена для испытания фрикционных, антифрикционных и смазочных материалов на трение и износ в широком диапазоне режимов [33].

Большой набор сменных приспособлений позволяет быстро перестраивать машину на различные схемы испытаний, моделирующих работу трибосопряжений в узлах трения. Машина состоит из блока привода, испытательной установки и пульта изменения и управления. На пульте машины регистрируется момент трения, температура в зоне трения, измеряются частота вращения, путь трения, по манометрам определяется сила прижима образцов. Установка снабжена автономной системой капельной смазки образцов.

Машина трения 2168 УМТ (рисунок 1.3), обеспечивает испытание образцов по всем восьми схемам и по этим особенностям не имеет аналога в триботехнической испытательной практике.

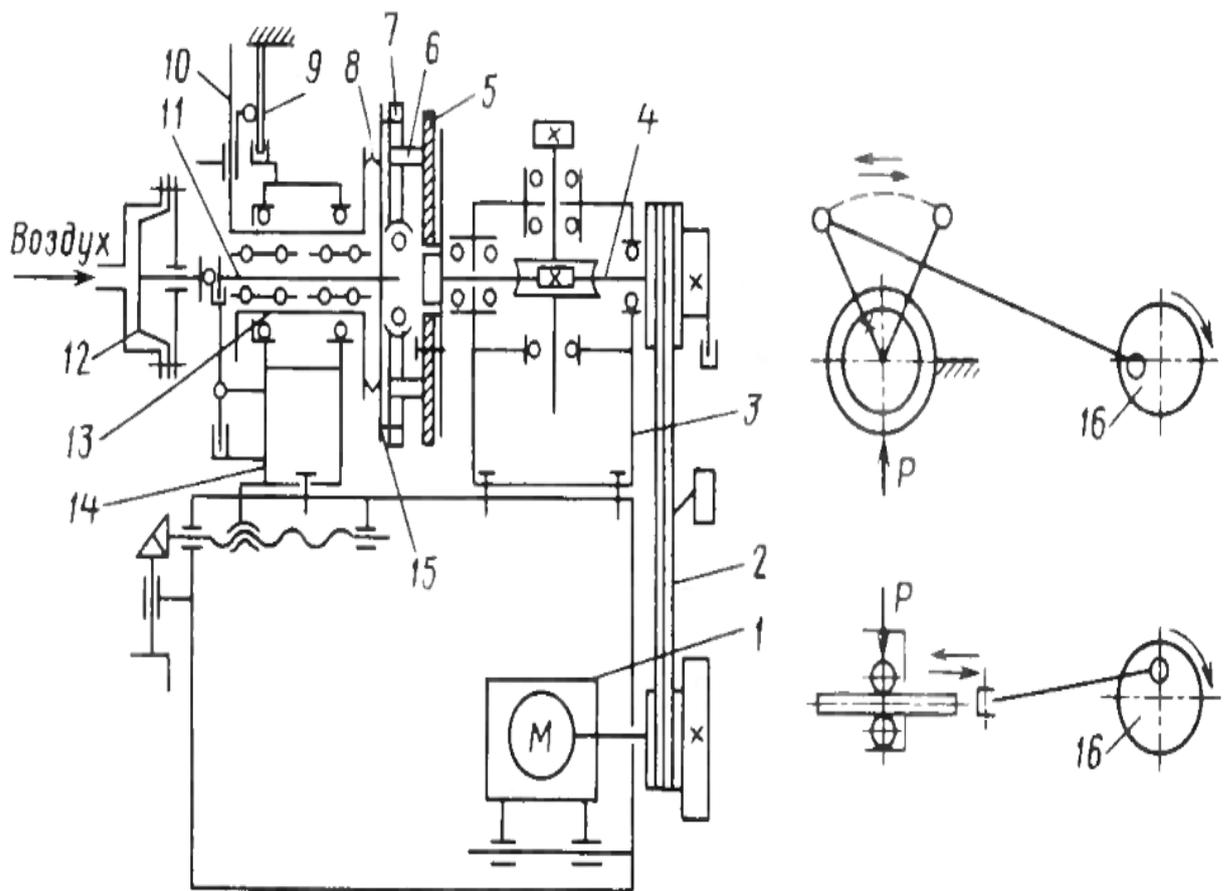


Рисунок 1.3 – Установка 2168 УМТ.

Привод машины — электромеханический с плавным регулированием скорости. Измеритель момента трения — электромеханический. Прижим образцов — пневматический (от сети или от баллона), измерение силы прижима — манометрическое. Охлаждение — водяное (от водопровода). Возможно программирование режимов испытаний.

Обеспечиваются схемы испытаний [34]:

При вращении:

- диск-палец ($K_{вз}=0$);
- кольцо-кольцо ($K_{вз}=1$, фрикционная теплостойкость);
- вал-втулка;
- диск-колодка (тормоз).

При качательном движении:

- диск-колодка;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

25

- вал-штулка;
- вал-трубки (виброизнос).

При возвратно-поступательном движении:

- стержень-палец (линейный контакт).

В процессе испытаний измеряется момент трения, сила прижима, температура, частота вращения, путь трения. Возможен выход на ЭВМ.

Машина

Машина трения СМЦ-2 [33] (рисунок 1.4).

Машина трения СМЦ-2 является прототипом машины трения 2070СМТ-1 и предназначена для исследования антифрикционных материалов при трении скольжения, качения и качения с проскальзыванием по трем кинематическим схемам (рисунок 1.4)

Вращение на бабку 4 и вал 5 нижнего образца передается через клиноремennую передачу 2 и контрпривод 3. Верхний образец размещается на валу 6 а бабке 7. Нагрузка задается устройством 8, содержащим градуированную пружину и серьгу. Момент трения регистрируется индуктивным датчиком по скручиванию торсионного валика. Основные величины, характеризующие процесс, записываются синхронно на ленте электронного потенциометра.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		26

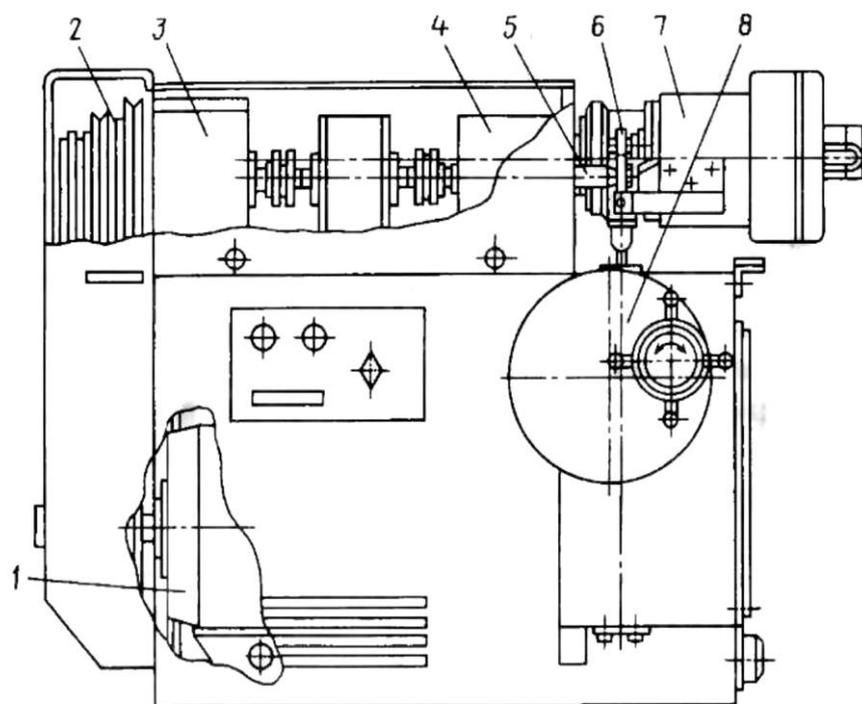


Рисунок 1.4 – Машина трения СМЦ-2

Технические характеристики машины трения СМЦ-2 представлены ниже.

Основные технические данные машины СМЦ-2:

1. Частота вращения вала нижнего образца 300, 500, 1000 об./мин;
2. Допускаемая погрешность частоты вращения вала нижнего образца от измеряемой величины $\pm 10\%$;
3. Число разрядов счетчика числа оборотов вала нижнего образца 6;
4. Номинальная цена единицы наименьшего разряда счетчика суммарного числа оборотов 100 об;
5. Максимальный момент трения 15 Н·м;
6. Пределы измерения момента трения от 1,5 до 15 Н·м;
7. Допускаемая погрешность измерения момента трения (при проверке в режиме статического нагружения) от измеряемой величины $\pm 5\%$;
8. Нагрузка на образцы от 200 до 5000 Н;
9. Допустимая погрешность приложения нагрузки от измеряемой величины $\pm 5\%$;
10. Потребляемая мощность 2,2 кВт;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

27

11. Питание от трехфазной сети 380 V, 50 Гц.

Машина трения СМТ-1 [33] (рисунок 1.4). Принцип работы машины трения СМТ-1 схож с машиной СМЦ-2, различия только в кинематической схеме.

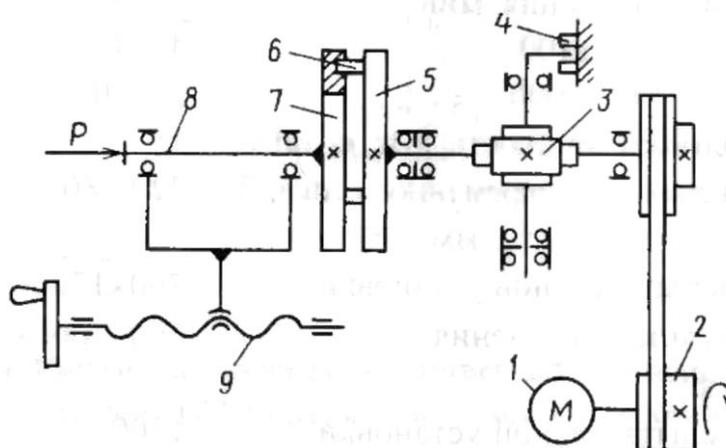


Рисунок 1.5 – Кинематическая схема СМТ-1

1.6 Классификация присадок в моторное масло

Присадки – вещества, добавляемые в незначительных количествах к топливам, смазочным материалам и специальным жидкостям для придания им новых свойств или с целью изменения существующих [35].

Длительность периода эксплуатационной обкатки, долговечность и работоспособность двигателей и агрегатов мобильной техники во многом определяется качеством смазочной среды [19,20,21,22,23]. Необходимые приработочные и эксплуатационные свойства масел определяются набором специальных присадок, вводимых в базовую минеральную или синтетическую основу.

Использование же специальных трибодобавок [26,25,26,27,28,29] позволяет, не ухудшая эксплуатационных параметров масел, обеспечивать формирование на поверхностях трения деталей машин необходимую структуру антифрикционного слоя с высокими триботехническими

характеристиками. Таким образом, при наличии высоких противоизносных характеристик современных смазочных материалов и дополнительно создаваемого противозадирного антифрикционного слоя при введении в смазку рациональных присадок, предположительно, можно существенно сократить период обкатки, увеличить безотказность и долговечность ресурсных сопряжений ДВС [1,3].

При этом создание самих антифрикционных покрытий на поверхностях трения деталей можно осуществлять безразборным способом, обеспечив лишь доставку соответствующих присадок в зоны трения путем введения их в состав смазочных масел, которые всегда присутствуют в узлах трения машин. В данной работе не ставилась задача детально рассмотреть классификацию трибопрепаратов в связи с тем, что такие классификации описаны во многих работах [24,26,28,30,31]. Все известные в настоящее время 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 [24,25,27,28,29] упрощенно классифицируются на: модификаторы трения, реметализанты, кондиционеры и ревитализанты [1,2].

Эта классификация представлена в виде таблицы 1.3.

Предварительными экспериментами установлено, 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.

Таблица 1.3 – Классификация присадок [2]

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

1.7 Присадка WAGNER Universal Micro-Ceramic-Oil

Описание присадки WAGNER Universal Micro-Ceramic-Oil (рисунок 1.6) взято с официального сайта производителя присадки WAGNER <http://www.oldieoel.de/> [37].



Рисунок 1.6 – присадка WAGNER Universal Micro-Ceramic-Oil

Присадка к маслам, содержащая микродисперсную керамику (размер частиц менее 0.15 микрона), для бензиновых, дизельных и газовых двигателей, а также для автомобильных трансмиссий. Микрокерамическая присадка WAGNER - это исключительная комбинация самых современных и высокотехнологичных смазочных нано-материалов.

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

					Лист
					31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

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

Применяется для:

- Бензиновых, дизельных, газовых двигателей (рекомендуется применение совместно с очистителем двигателя WINDIGO);
- Механических коробок переключения передач;
- Дифференциалов, мостов, раздаток с тяжелым режимом эксплуатации;
- Двигателей и мокрых сцеплений мотоциклов.

Способ действия

Микрокерамика Wagner - это гексагональный нитрид бора (α -BN). Нитрид бора, BN - бинарное соединение бора и азота известен уже свыше 100 лет и материалы на его основе являются основой многих современных технологий.

Кристаллическая структура α -BN состоит из графитоподобных сеток, расположенных, в отличие от структуры графита, точно одна под другой с чередованием атомов бора и азота по оси Z. Что свидетельствует о более прочной связи между сетками в структуре нитрида бора в сравнении с графитом. Из-за близости структуры и некоторых физических свойств графита и нитрида бора α -BN называют «белым графитом». В отличие от графита отдельные кристаллы α -BN прозрачны. α -BN давно применяется в качестве твёрдой высокотемпературной смазки и в этом превосходит графит. Нитрид бора, как будто, «сглаживает» рабочие поверхности, существенно снижает коэффициент трения и износы деталей.

Микрокерамика Wagner обладает тугоплавкостью ($T_{\text{дис}} = 3000\text{C}$), легкостью скольжения, малой твердостью, высокой среди диэлектриков теплопроводностью, интенсивнее графита отводит тепло и инертна к

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		32

расплавам многих веществ, Микрокерамика, как кристаллическая пластинчатая пористая слоистая структура обладает высокой термостабильностью и смазывающей способностью. А размельчённый до частиц 0,15 мкм беспрепятственно проникает через масляные фильтры. Керамика Wagner обладает мощными дисперсионными свойствами, не позволяет формироваться отложениям из моторного масла, поддерживает непревзойдённую чистоту двигателя, существенно повышает смазывающую способность и теплоотвод, необходимый для высокофорсированных ДВС, позволяет моторному маслу работать дольше и в более щадящих условиях.

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

Преимущества над графитом и молибденом

Основным преимуществом α -BN в сравнении с графитом и дисульфидом молибдена является термостойкость, т.к. α -BN сохраняет свойства смазки до 2760 °C в инертной среде и до 1600 °C в окислительной атмосфере. Поэтому при высокой теплопроводности и термостойкости порошка α -BN снижаются локальные нагревы масла, резко возрастает надежность масляного клина и исключаются задиры сопряжений при высоких температурах.

Свойства присадки Wagner микрокерамика:

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

- Уменьшение степени износа деталей двигателя и трансмиссии;
- Повышение легкости хода;
- Экономия топлива до 15%;
- Действие на протяжении 60 000 км или 1000 часов эксплуатации;
- Повышение мощности двигателя, снижение расхода масла;
- Уменьшение шумов в двигателе и трансмиссии;
- Облегчение процесса переключения передач;
- Снижение выброса вредных веществ;
- Улучшение противозадирных свойств;
- Понижение температуры масла в двигателе и трансмиссии;
- Увеличение срока эксплуатации;
- Сокращение общих расходов на эксплуатацию.

Защитный слой из *микрочермики*:

1. Не имеет четкой границы между собой и металлом-носителем;
2. Не чужероден металлу-носителю;
3. Имеет одинаковый с металлом-носителем коэффициент линейного и теплового расширения, не скалывается при нагреве-охлаждении
4. Имеет низкий коэффициент трения;
5. Температура разрушения микрочермики составляет примерно 1600°C , стоек к коррозии;
6. Микрочермика не вступает в реакции замещения, адсорбирует атомарный водород;
7. Может возобновляться по мере износа проведение дополнительной обработки присадкой (добавкой) к маслам Windigo *микрочермика* производства компании Wagner.

Инструкции по применению:

Рекомендация по применению присадки Wagner Micro Ceramic:

1. Подготовить новое моторное масло и фильтр согласно рекомендациям производителя. Советуем использовать масла Windigo, производства компании Wagner с пониженным коэффициентом трения;

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		34

2. Добавить в старое моторное масло промывку двигателя Windigo Motor-Cleaner. Завести двигатель, дать поработать 15-20 минут на холостых оборотах в зависимости от степени загрязнения;

3. Слить старое моторное масло, заменить масляный фильтр;

4. Залить из канистры в двигатель половину необходимого объема масла, затем в двигатель добавить присадку Wagner Micro Ceramic, которая в РФ продается под брендом Windigo, в объеме 5% от объема масла, предварительно хорошо ее встряхнув, затем довести уровень масла в двигателе до необходимого количества остатками масла в канистре. Для МКПП, мостов и редукторов часто удобнее перемешивать масло и присадку (добавку) в канистре, а уже затем заливать.

5. Запустить двигатель, прогреть до рабочей температуры на холостых оборотах. После полного прогрева дать поработать 10 минут на холостом ходу, за это время большинство частиц микрокерамики покроют защитным слоем детали, на которые действует давление и температура.

6. Теперь можно эксплуатировать автомобиль в привычном режиме.

Не подходит для масел автоматической трансмиссии.

МКПП, раздаточные коробки, мосты, дифференциалы: Добавить в трансмиссионное масло присадку Wagner Micro Ceramic в объеме 5% от объема масла.

Производитель: WAGNER Spezienschmierstoffe GmbH & Co. KG-Speckbrodi 8-86759 Wechingen-Германия, тел. 09085/960-110-Факс. 09085/960-900 - shop@oldieoel.de - <http://www.oldieoel.de/>.

1.8 Производства моторных масел в России

Объем производства смазочных материалов в России в 2017 году составил 3,2 млн тонн, что на 13% больше, чем в 2014 году (2,8 млн тонн) (рисунок 1.7) [40]. Основным фактором роста стало увеличение производства смазочных масел, в то время как производство пластичных смазок и

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		35

суспензий для нанесения твердых смазочных покрытий за тот же период резко сократилось (на 53% — с 13,8 тыс. тонн до 6,5 тыс. тонн). Спад производства пластичных смазок может быть частично связан с изменением структуры потребления. Российские производители в основном выпускают стандартные пластичные смазки в соответствии с ГОСТом. Снижение спроса на них ведет к сокращению объема производства.

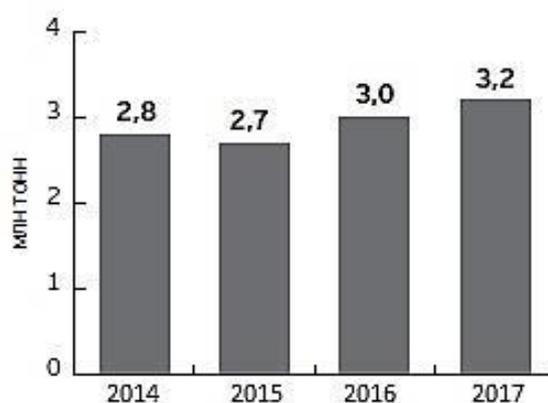


Рисунок 1.7 – Производство смазочных материалов в России

Основными российскими производителями смазочных материалов являются крупные нефтяные компании. ПАО «ЛУКОЙЛ» производит чуть меньше половины (45%) от общего объема российских смазочных материалов; ОАО «НК «Роснефть» занимает 20% рынка и является вторым крупнейшим производителем; на ПАО «Газпром нефть» приходится 14%. Значительная часть смазочных материалов производится в Приволжском федеральном округе. Здесь располагаются ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» и Новокуйбышевский завод масел и присадок, принадлежащий ОАО «НК «Роснефть». В 2016 году на этих заводах было выпущено 701 тыс. тонн смазочных материалов. В Южном ФО находится еще одно крупное предприятие — ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка». В 2016 году завод произвел 487 тыс. тонн смазочных масел. Сибирский ФО замыкает первую тройку российских регионов с наибольшими объемами выпуска смазочных материалов.

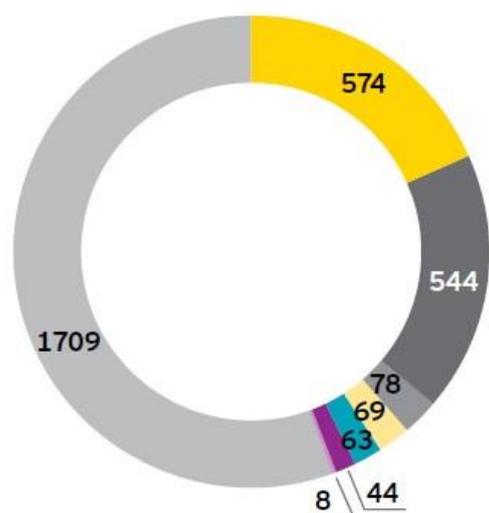
Крупнейший местный производитель — Омский завод смазочных материалов, принадлежащий ПАО «Газпром нефть» и располагающий мощностями по производству смазочных материалов в объеме 300 тыс. тонн.

Основными российскими производителями смазочных материалов являются крупные нефтяные компании. ПАО «ЛУКОЙЛ» производит чуть меньше половины (45%) от общего объема российских смазочных материалов; ОАО «НК «Роснефть» занимает 20% рынка и является вторым крупнейшим производителем; на ПАО «Газпромнефть» приходится 14%.

Выпускаемые смазочные материалы включают в себя главным образом смазочные масла, на которые приходится 93% от общего объема. В частности, индустриальные и моторные масла составляют 18% и 17% соответственно в объеме производства смазочных материалов в России (рисунок 1.8) [40].

По данным Росстата, в 2017 в России было произведено 519,8 тыс. тонн моторных масел против 520,6 тыс. тонн в 2016 г. За январь-апрель 2017 года объем производства моторных масел в натуральном выражении составил 167,5 тыс. тонн, что на 10 % больше, чем за соответствующий период 2016 года. Главным трендом отечественного рынка моторных масел эксперты называют снижение объема импорта. В рамках вектора направления импортозамещения, российские игроки рынка активно инвестируют и проводят модернизацию производственных мощностей.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		37



- Промышленные масла
- Моторные масла
- Гидравлические масла
- Электроизоляционные масла
- Компрессорные и турбинные масла
- Трансмиссионные масла
- Технологические масла
- Прочие масла

* Прочие масла включают масла нефтяные различного назначения, масла-пластификаторы, наполнители и носители.

Рисунок 1.8 – Производство смазочных материалов за 2017г

Ещё одной из ключевых тенденций является изменение соотношения каналов продаж моторных масел: в частности, с 2014 по 2016 год доля СТО выросла с 27 % до 31 %, а в перспективе 2025 года доля СТО превысит 40 %, причем наиболее быстрыми темпами будут расти независимые станции обслуживания, а доля «гаражного» сервиса будет снижаться. Несмотря на существенное изменение внешних факторов, структура участников российского рынка моторных масел не претерпела существенных изменений. Изначально предполагалось, что импортозамещение может поспособствовать уходу с рынка некоторых иностранных брендов, но в сложившейся ситуации им пришлось выбирать: либо потерять российского покупателя, либо изменить свою ценовую политику. Однако даже при такой альтернативе

далеко не все импортные бренды выбрали последний вариант. Вместо этого импортированные бренды (у которых нет производства в РФ) не пересматривают цены, а ищут другие пути развития: инвестиции в СТО — классический подход для гарантированных объёмов продаж в среднесрочной перспективе. Бренды, которые создали производственные площадки в РФ, обладают большей гибкостью в ценообразовании. Что касается отечественных участников рынка, то основную долю моторных масел в России производят такие крупные нефтяные компании, как «Роснефть», ЛУКОЙЛ (самый известный и продаваемый бренд), «Газпром нефть», а также ряд других компаний, в числе которых Shell (завод в Торжке) и Торгово-промышленная ассоциация Delfin Group. В целом, представители отечественного рынка моторных масел достаточно позитивно оценивают перспективы его развития, однако всё же отмечают существующие недостатки. В Delfin Group отмечают, что в настоящее время рынок характеризуется снижением и без того невысоких темпов роста, что обусловлено экономическим кризисом в стране. Свою роль также играет прирост продаж иномарок российской сборки, среди которых доминируют легковые автомобили с повышенными требованиями к экономичности расхода топлива и масел. Специалисты «Газпромнефть — смазочные материалы» считают, что дальнейшее развитие российского рынка моторных масел характеризуется, прежде всего, ростом спроса на высокотехнологичные масла, что связано с увеличением рынка современных автомобилей. При этом доля продаж масел, выпускаемых отечественными предприятиями, будет расти, что обусловлено приведением производителями технологических возможностей в соответствие с потребностями рынка.

Потребление смазочных материалов

Объем потребления смазочных материалов в России, включая базовые масла, в 2017 году составил 2,5 млн тонн, что на 14% больше, чем в 2014 году (2,2 млн тонн) (рисунок 1.9) [40]. В то же время, за вычетом базовых масел, спрос фактически сократился на 6% — с 1,6 млн тонн до 1,5 млн тонн.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		39

Потребление смазочных материалов зависит от ряда экономических и технологических факторов. В связи с проциклическим характером этого рынка текущий экономический кризис, санкции западных стран, обесценение российского рубля и снижение потребительской активности с большой вероятностью окажут на него отрицательное влияние. Однако после 2017 года ожидается восстановление объема продаж автомобилей, что должно положительно сказаться и на потреблении смазочных материалов. Ожидается, что в результате российский рынок автомобильных смазочных материалов восстановится и к 2020 году вырастет на 12% в связи с ростом объема продаж легковых автомобилей. Помимо экономических причин падения спроса на смазочные материалы, существуют и технологические факторы. Разработка более сложного оборудования и транспортных средств, которые потребляют меньший объем смазочных масел, также негативно влияет на спрос.

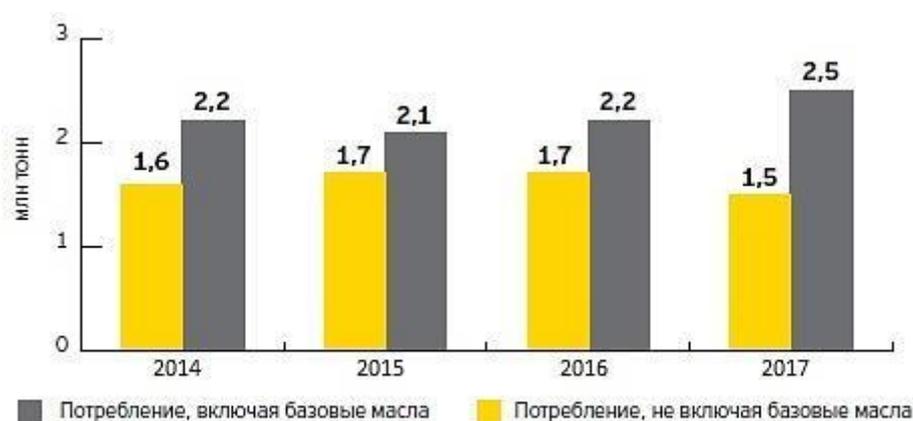


Рисунок 1.9 - Потребление смазочных материалов в России

Специалисты аналитического агентства «АВТОСТАТ» провели исследование рынка моторных масел в России, которое охватывало легковые (PC), легкие коммерческие (LCV) и грузовые автомобили (CV+HCV). По результатам исследования была рассчитана потребность автотранспорта в моторных маслах по итогам 2016 года (рисунок 1.10) [39].

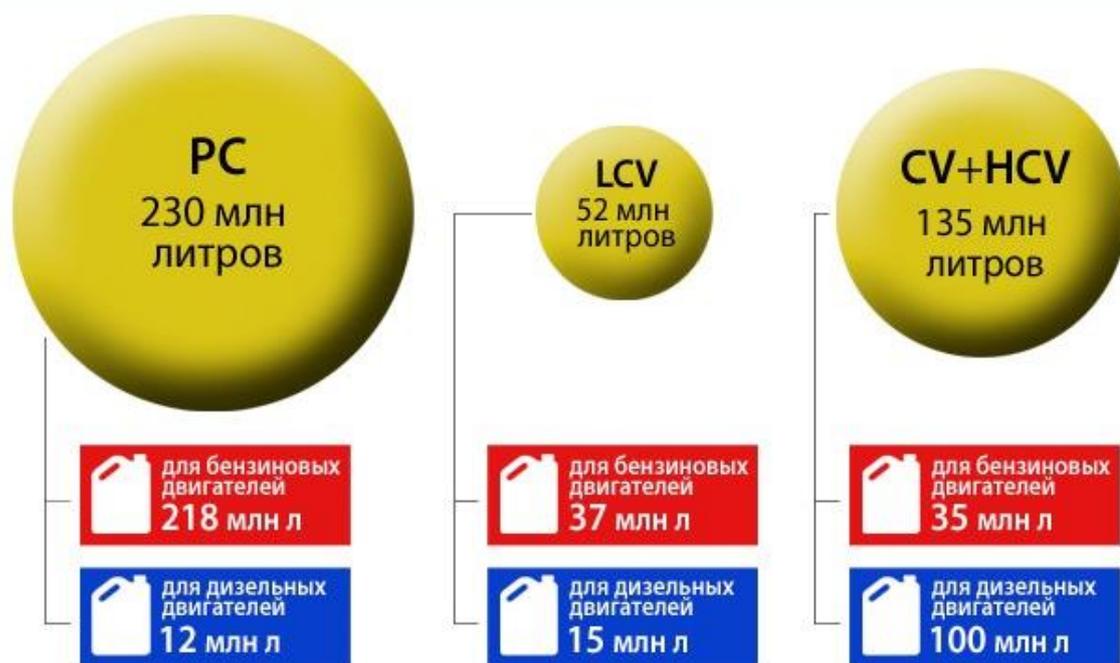


Рисунок 1.10 – Потребность автотранспорта в моторных маслах

Нужно отметить, что в качестве основных параметров расчета выступали следующие: численность парка автомобилей, находящихся в активной эксплуатации; средний объем системы смазки двигателей автомобилей, входящих в парк; коэффициент частоты замены масла в течение года; объем масла для компенсации угара при эксплуатации. Исследование показывает, что потребность в моторных маслах для легковых автомобилей, LCV и грузовиков в России в минувшем году превысила 400 млн литров. При этом свыше половины (55%) от этого объема пришлось на легковые автомобили, т.е. 230 млн литров. Безусловно, это связано с огромным парком легковых автомобилей в стране, который в пять раз больше, чем у грузовиков и LCV вместе взятых. Восьмая часть (12,5%) от общей потребности относится к сегменту LCV, что соответствует 52 млн литров. И примерно треть (32,5%) занимают грузовые автомобили (135 млн литров). При сопоставимых размерах парка намного большая потребность в моторных маслах у грузовиков во многом объясняется отличием других расчетных показателей.

Так, у грузовых автомобилей больше объемы системы смазки двигателей. К тому же они имеют большие пробеги, что влечет и более частую замену масла. Учитывая тот факт, что большинство грузовых автомобилей оснащается дизельными двигателями, то и потребность в соответствующих моторных маслах у них заметно выше. Так, на долю масел для дизельных двигателей в сегменте грузовиков приходится 74%, или 100 млн литров количественно. Для LCV этот показатель составляет 29% (15 млн литров). А меньше всего он у легковых автомобилей (5% или 12 млн литров), поскольку дизельные моторы пользуются в этом сегменте ограниченным спросом.

Основными покупателями моторных масел в России являются мужчины 25–55 лет. Исследования потребительского поведения показали, что покупатели стараются не менять марку масла, чтобы лишний раз не промывать двигатель. Наиболее частой причиной смены производителя является приобретение контрафактной продукции. Для отечественного рынка моторных масел это существенная проблема, так как подделки под самые известные бренды заполнили российский рынок. Для наглядности можно упомянуть только один из прецедентов, когда в Подмоскowie было ликвидировано подпольное производство моторных масел (под брендами Shell, Helix, Elf, Total, Mazda, Mobil, Castrol) с годовым оборотом около 12 млрд. рублей. Если всё же потребитель решает сменить производителя, то при выборе он руководствуется: советами мастера в СТО или опытного продавца, советами друзей, информацией из тематических источников (статьи в журналах, на тематических сайтах и прочее) и также он может поддаться влиянию проводящихся акций стимулирования сбыта. Говоря о тенденциях, которые будут усиливать свое влияние на подбор масла для двигателей легковых автомобилей и сверхмощных грузовиков, эксперты выделяют: – экономия топлива; – экологичность (снижение вредных выбросов, в частности CO₂); – повышение долговечности (снижение трения). Кроме того, современный рынок характеризуется большим количеством брендов на рынке и сильной конкурентной борьбой. Согласно исследованию

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ				

аналитического агентства «АВТОСТАТ» [39], на российском рынке моторных масел для легковых автомобилей представлена продукция почти 100 зарубежных и около полутора десятков отечественных производителей масел. Анализ данных по ряду крупных городов страны показал, что наиболее насыщенное брендами предложение по моторным маслам присутствует в Санкт-Петербурге (79 брендов) и Москве (73 бренда), а наименее — в Екатеринбурге (36 брендов). Причем в Санкт-Петербурге относительно всей российской территории представлено наибольшее число зарубежных брендов (55 брендов), что явно обусловлено его географическим расположением, привлекательным для импортеров. Для отечественных производителей наиболее привлекательным местом продаж традиционно выступает Москва, где на сегодня представлено 12 российских брендов. Эксперты также отметили, что ТОП-15 брендов составляют чуть менее 70 % от всех предложений моторных масел в России. Основная конкурентная борьба за доли российского рынка происходит между пятью брендами-производителями моторных масел (рисунок 1.11) [39]: Castrol (9,3 %), Liqui Moly (9,0 %), Mobil (8,7 %), Shell (7,7 %), Лукойл (7,0 %).

При этом их взаимные позиции могут существенно изменяться от региона к региону. Условия конкурентной борьбы в настоящее время заметно трансформировались, что обусловлено изменением потребительского поведения — владельцы автомобилей все чаще для замены масла обращаются в автосервис, а покупают автомобильные масла в специализированных магазинах и часто в ближайшем гипермаркете. Более того, появляются масла частных марок (private label) по значительно более низкой цене (например, моторное масло «Каждый день» в сети гипермаркетов Ашан).

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		43



Рисунок 1.11 - Бренды-конкуренты моторных масел в России

Ввиду роста самостоятельного приобретения масла в магазинах, упаковка играет ещё более важную роль и является мощным инструментом коммуникации. Стоит отметить, что основными цветами, используемыми в оформлении упаковки, являются черный, темно-серый — в целом используется холодная и темная цветовая гамма. Именно поэтому производители постепенно меняют цветовую гамму на более светлую, чтобы выделяться на магазинной полке. Что касается инструментов взаимодействия с потребителем, то как основные бренды первой десятки, так и новые игроки стараются заявить о себе любыми способами: через рекламу и маркетинговые акции, социальные сети и другие каналы коммуникации. Традиционно с наступлением сезонов замены масла (осень, весна) такие крупные бренды, как например, Лукойл и Castrol начинают активно транслировать свои ролики на телевидении. Как уже упоминал автор, компании стараются охватить максимальное количество каналов взаимодействия со своей аудиторией, но такой мощный и массовый инструмент, как телевидение

использует меньшинство. Основным инструментом на данный момент является Интернет и все основные виды коммуникаций в нем:

- Директ-маркетинг;
- Реклама на YouTube;
- Взаимодействие с потребителем в соцсетях;
- Контекстная реклама.

Среди традиционных каналов коммуникации очень активно используется пресса и радио. Причем имеет место, как размещение рекламных аудио роликов (в случае прессы – рекламных модулей), так и освещение продукта в специальной статье или передаче.

Аналитическое агентство «АВТОСТАТ» [39] в 2016 года провело опрос автолюбителей для определения предпочтений и привычек российских автовладельцев при выборе и замене моторного масла. В опросе приняли участие более 2000 респондентов со всей России.

В ходе исследования автовладельцы указывали наиболее приоритетные к покупке бренды (торговые марки) моторных масел.

Самым популярным из них стал Mobil, который набрал 39% от максимального уровня (рисунок 1.12) [39]. Castrol и Shell заняли второе и третье места (30% и 25% соответственно). В первой десятке присутствует лишь один российский бренд.

Согласно результатам опроса, больше половины российских автовладельцев (52,4%), выбирая моторное масло, в первую очередь руководствуются рекомендациями автопроизводителя. Немалую роль также играет предыдущий личный опыт использования масел – этот факт отметили 42,8% респондентов. В меньшей степени на выбор влияют рекомендации работников автосервиса (19,7%), статьи автомобильных журналов (17,5%), рекомендации друзей и знакомых (15,6%), мнение автовладельцев на форумах (14,1%). Меньше всего владельцы автотранспорта прислушиваются к рекомендациям продавцов (9,1%). (В ходе ответа на вопрос можно было выбрать несколько вариантов ответа).

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		45

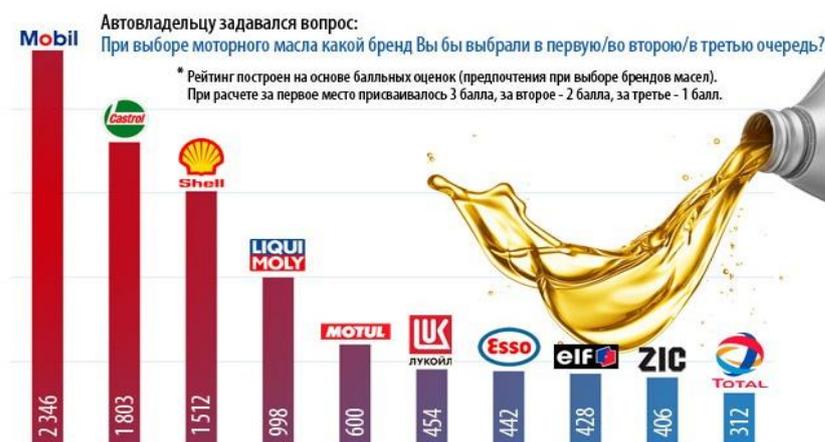


Рисунок 1.12 - Спрос на бренды моторных масел в России

На основании выше изложенной информации можно сделать вывод о состоянии рынка моторных масел. На рынке представлено большое количество брендов-производителей моторного масла и каждый бренд представлен несколькими классами вязкости подходящими для одинаковых двигателей.

Также существует многообразие брендов-производителей присадок в моторное масло, позиционирующих себя как препараты, улучшающие эксплуатационных характеристики, противоизносные свойства и т.д. Возникает проблема выбора не только качественного, подходящего моторного масла, но и желание улучшить его показатели применением противоизносной присадки.

На основании анализа состояния вопроса по теме магистерской работы была сформулирована *цель работы* – Исследование влияния противоизносных присадок на свойства моторных масел.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:

1. Обосновать актуальность работы;
2. Сформировать алгоритм выполнения экспериментальных исследований на машине трения с использованием схемы «ролик-колодка»;
3. Выполнить экспериментальные исследования и изучить влияние противоизносной присадки на свойства различных моторных масел;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

46

4. Сделать вывод о возможности использования исследуемой присадки в маслах разных классов.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		47

2 МЕТОД ИСПЫТАНИЯ НА ТРЕНИЕ И ИЗНОС

Исследования проводились на кафедре Автомобильный Транспорт и Сервис Автомобилей, так как на кафедре имеются стенды для изучения подшипников скольжения, такие как: ИИ 5018, УМТ 2168, СМЦ-2, СМТ-1.

2.1 Описание выбранных образцов

В качестве образцов подшипников скольжения были сделаны специальные колодки площадью S_1 и S_2 из настоящих шатунных вкладышей. Размеры колодок были выбраны под установочный паз в рычаге машины трения.

В качестве испытуемых образцов масел были взяты масла М8ДМ и масло Hyundai/ Kia Turbo Syn SAE 5w-30.

Масло моторное М8ДМ производится на минеральной основе, состоящей из смеси дистилляторных и остаточных компонентов выработанных из сернистой нефти с присоединением особого комплекса присадок (рисунок 2.1).

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		48



Рисунок 2.1 - Масло моторное М8ДМ

Использование данного набора присадок позволяет сформировать для моторной смазки М8ДМ высокие смазочные качества, а также хорошие антикоррозионные, противозадирные и противоизносные характеристики. Обозначение смазывающей жидкости принято по ГОСТ 17479.1-85:

- М – масло моторное;
- 8 – величина класса вязкости (по классификации SAE отвечает параметру 20);
- Д – дизельные силовые агрегаты;
- М – обладает малозольным составом.

В соответствии со стандартами API по своим эксплуатационным данным масло отвечает описаниям класса CD (устаревший класс для дизельных моторов, обладающих увеличенной мощностью).

Технические показатели

Технологичная жидкость М8ДМ обладает следующими основными техническими характеристиками:

1. Параметры по физико-механическим свойствам;

- Вязкость кинематическая – 8.00-8.50 (мм²/с, при -10°С);

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

49

- Индекс для вязкости – 102;
- Температура вспышки – от 195°C;
- Температура застывания – от -30°C;
- Плотность – не превышает 0.90 (г/см3);
- Наличие механических примесей – ограничено 0.02 %.

2. Количество активных составляющих (не менее %):

- Цинк – 0.09;
- Кальций – 0.30.

3. Щелочной показатель – 8.50 (мг КОН/г);

4. Зольность по сульфатам – ограничена 1.50 %;

5. Моющие характеристики – до 0.50 баллов;

6. Стабильность периода осадкообразования (метод ИПО) – 35 часов.

Область применения

Благодаря своему составу, техническим свойствам, моторное масло М8ДМ эффективно для применения в дизельных силовых агрегатах следующей специальной техники:

- карьерные самосвалы;
- высокомошные бульдозеры и трактора;
- трубоукладчики;
- экскаваторы;
- карьерные погрузчики;
- трелевочные машины;
- различные специализированные агрегаты и станции,

использующие дизельные силовые установки.

При этом за счет малой вязкости, хорошей совместимости с уплотнителями и прокладками может использоваться в двигателях обладающих большой наработкой и высокой степенью износа.

Смазка М8ДМ может эксплуатироваться в двигателях с воздушным и водяным охлаждением, обладающих турбонаддувом и без него. При этом

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		50

применение в дизелях без турбонаддува позволяет продлить период между выполнением замены.

Масло М8ДМ является качественным смазочным материалом для использования, прежде всего, в дизельных моторах отечественной техники имеющих значительную наработку.

Hyundai Turbo Syn Gasoline Engine Oil SM 5W30 - Современное синтетическое энергосберегающее оригинальное моторное масло, рекомендованное к всесезонному применению в двигателях автомобилей Hyundai и Kia с турбонаддувом и без него (рисунок 2.2).

Обязательно к применению для обеспечения устойчивой работы двигателей с CVVT система изменения фаз газораспределения выпуска компании Hyundai. Масло сочетает в себе высочайшие эксплуатационные качества, в том числе прекрасные низкотемпературные характеристики, а также улучшенную защиту двигателя даже в самых сложных режимах работы. Отличные температурно-вязкостные характеристики обеспечивают надежную защиту двигателя от износа во всем диапазоне рабочих температур. Синтетическая основа масла обеспечивает лёгкий холодный пуск двигателя даже при экстремально низких температурах. Высокая стабильность вязкостных характеристик в течение всего срока службы способствует экономии топлива. Не оказывает вредного воздействия на самые современные системы очистки выхлопных газов.

						Лист
					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Масло Hyundai Turbo Syn 5W30

Масло Hyundai Turbo Syn Gasoline Engine Oil SM 5W30 производится в Южной Корее компанией Mobis. Mobis является официальным производителем запчастей для концерна Hyundai&KIA, а также автомобилей марки Ssang Yong. Продукция компании Mobis, в том числе и спецжидкости, является сертифицированной для европейского рынка, а также используется при гарантийном обслуживании автомобилей KIA и Hyundai. А само масло в двигатель Hyundai 5W30 Turbo Syn используется в качестве первой заводской заливки во многих новых моделях концерна.

Масло в двигатель Hyundai Turbo Syn Gasoline Engine Oil SM/GF-4 5W30 ориентировано преимущественно на корейских автопроизводителей, а именно на автомобили Hyundai и KIA. Но это не значит, что данный товар нельзя использовать в других марках авто. Масло для двигателя Hyundai 5W30 идеально подходит для всех типов моторов с турбонаддувом, а также без него. Отлично сочетается с системой CVVT-i. Подходит для моторов автомобилей Hyundai Elantra и Kia Spectra с 2005 года выпуска, Alpha II

									Лист
									52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ				

ДОНС (автомобили Hyundai Accent\Verna, Tiburon, Kia cee'd с 2006 года выпуска).и многих других.

Технические характеристики масла Hyundai 5W30 Turbo Syn Gasoline Engine Oil.

Продукт Turbo Syn обладает превосходными характеристиками, среди которых отличные вязкостно-температурные, моющие, защитные и многие другие. Масло Hyundai сохраняет свои свойства при самых высоких температурах, а также не теряет качеств при низких. Обеспечивая тем самым очень легкий запуск двигателя в холодное зимнее время. Надежно защищает детали мотора от износа в широком диапазоне температур на протяжении всего срока службы от замены до замены. Способствует экономии топлива. Поддерживает двигатель в чистоте, продлевает рабочий ресурс деталей. Совместимо с самыми современными системами очистки отработавших газов.

Спецификации и допуски:

- Вязкость SAE 5W30;
- Класс API SM;
- ILSAC GF-4;
- ACEA A5.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		53

2.2 Устройство и принцип работы СМЦ-2

Для выполнения эксперимента и проведения исследований была выбрана машина трения СМЦ-2 (рисунок 2.3). Она удовлетворяет всем требованиям эксперимента.

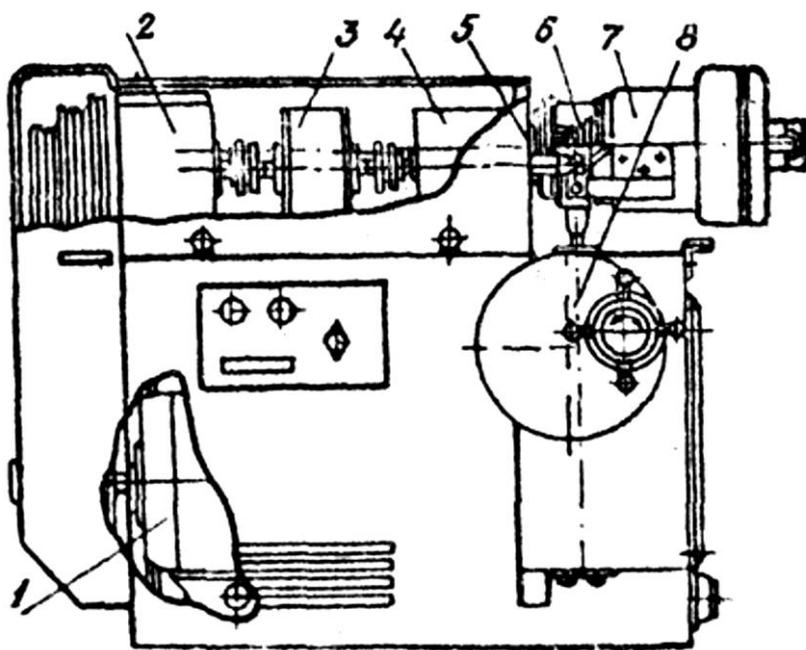


Рисунок 2.3 - Вид и основные узлы машины трения СМЦ-2

1-электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – контрпривод; 4 – бабка; 5-вал нижнего образца; 6 – вал верхнего образца; 7- пружинный механизм; 8 – нагрузитель.

Принцип действия машины заключается в истирании пары образцов (рисунок 2.4), прижатых друг к другу с силой N .

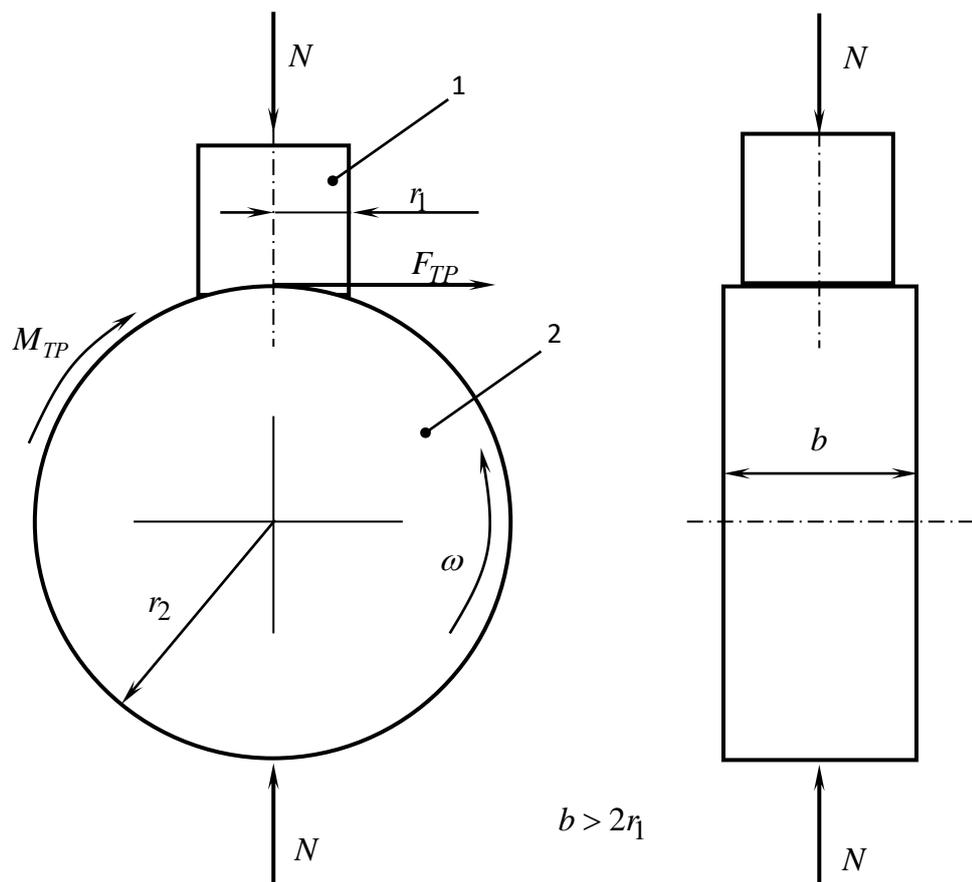


Рисунок 2.4 Схема взаимодействия образцов типа диск-стержень:

1 – верхний образец (стержень); 2 – нижний образец; r_1, r_2 – радиусы образцов; ω – угловая скорость вращения диска; b – ширина диска; N – внешняя сила, действующая на образцы; M_{TP} – момент трения; F_{TP} – сила трения.

В процессе испытаний замеряется момент трения на нижнем образце и фиксируется на диаграммной бумаге. Кинематическая схема машины трения СМЦ-2 показана на рисунке 2.5.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
------	------	----------	--------	------

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

55

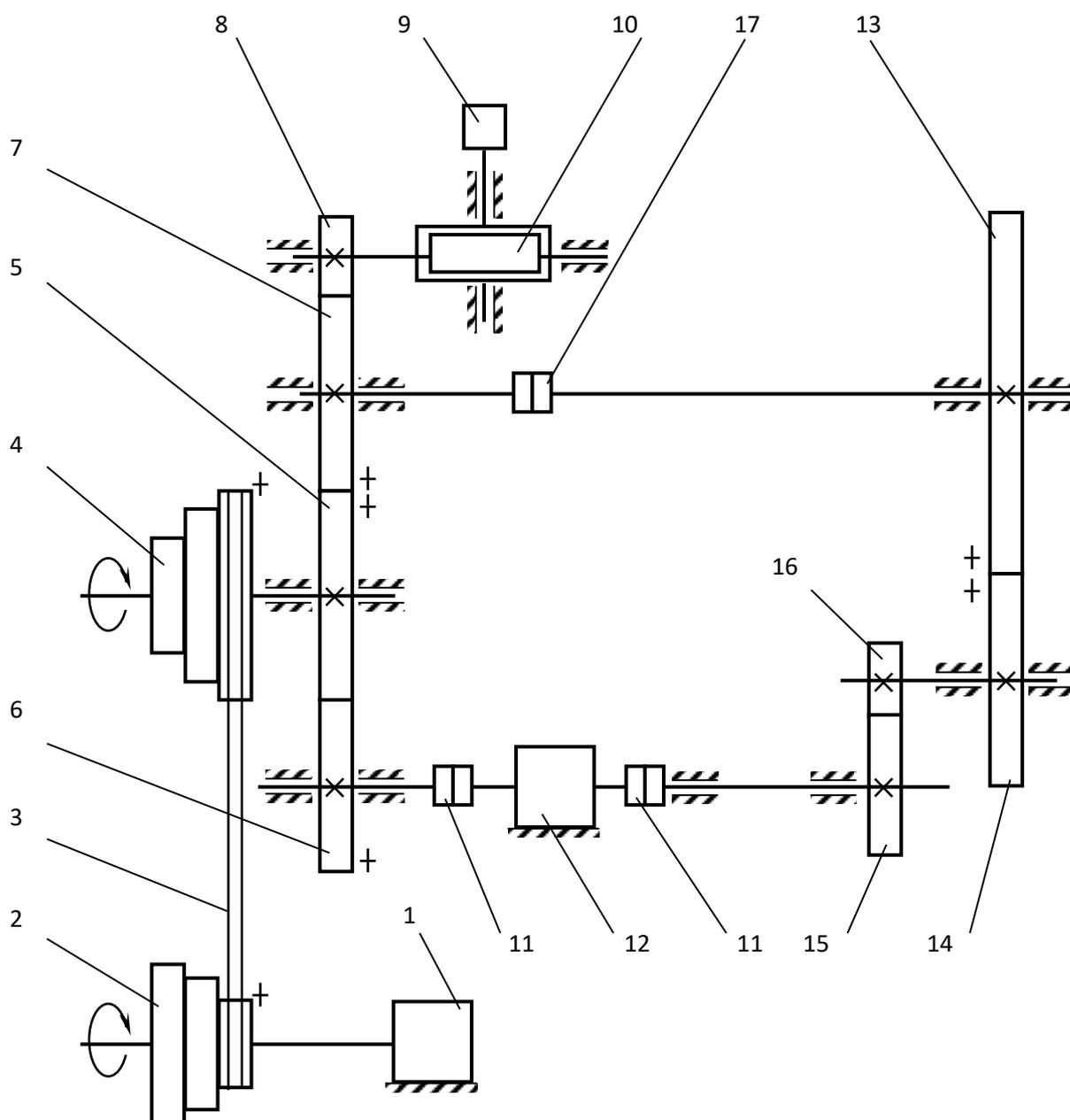


Рисунок 2.5 - Кинематическая схема машины трения СМЦ-2:

1 – электродвигатель А02-32/6; 2 – шкив на валу электродвигателя; 3 – клиновые ремни; 4 – шкив ведомый; 5, 6, 7 – колесо прямозубое; 8 – шестерня; 9 – датчик оборотов (пути трения); 10 – червячная пара; 11 – муфта; 12 – датчик момента трения; 13 – колесо прямозубое; 14 – шестерня; 15 – нижний образец; 16 – верхний образец; 17 – муфта вала верхнего образца.

Электродвигатель 1 асинхронного типа приводит во вращение шкив 2 через клиновые ремни 3 - шкив 4, насаженный на выходной вал редуктора, который состоит из прямозубых зубчатых колес 5, 6, 7, шестерни 8 привода

червячной пары 10 датчика числа оборотов верхнего вала машины. Прямозубые зубчатые колеса 6 и 7 имеют одинаковое число зубьев. Зубчатое колесо 6 приводит во вращение нижний вал машины трения, на котором установлен датчик момента трения 12, связанный с ним через муфты 11. На выходном конце нижнего вала установлен образец 15.

При испытаниях образцов типа вал втулка каретка снимается с машины.

Датчик измерения момента трения - бесконтактный индуктивный - состоит из вращающегося ротора и неподвижного статора. Принцип действия основан на измерении угла закручивания торсиона под действием момента трения, на котором закреплены магнитопроводы цилиндрической формы, что приводит к изменению воздушного зазора магнитопровода пропорционально углу закручивания торсиона. Питание измерительных катушек статора осуществляется переменным током от стабилизатора напряжения (110V) и частотой 50 Гц. Электрические сигналы с измерительных катушек подаются электрическую схему сравнения и далее на электронный потенциометр ПСР, который показывает и записывает величину измеряемого момента трения. В процессе испытания образцов.

Частота вращения 300, 500, 1000 об/мин устанавливается до испытаний перестановкой клиновых ремней.

Схема нагружения образцов показана на рисунке 2.4. К нижнему образцу типа диск прижимается образец 2, закрепленный на рычаге 3. На рычаг упирается винт 4 и через скобку 5, и стержень 6 сжимает пружину 7. Вместе со стержнем 6 перемещается зубчатая рейка 8, которая находится зацеплении с шестеренкой 9. Лимб 10 закреплен на валу шестерни 9 и имеет форму короткого цилиндра с делениями, по которым определяется величина нагрузки. Соответствие числа делений и нагрузки определяется по тарифовочному графику.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		57

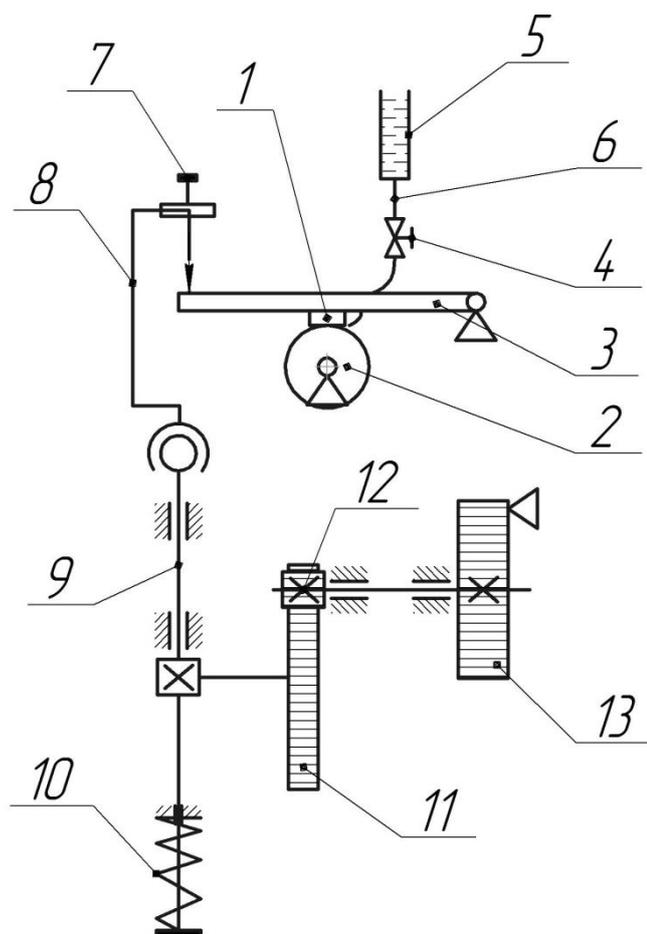


Рисунок 2.6 – Схема нагружения образцов на машине СМЦ-2

1- верхний образец; 2 – нижний образец; 3 – рычаг; 4 – регулятор подачи масла; 5 – емкость для масла; 6 – подвод масла; 7 – винт; 8 – скоба; 9 – тяга; 10 – пружина; 11 – подвижная зубчатая рейка; 12 – шестерня; 13 – лимб с указателем.

Оборудование и образцы

Нижний образец (контртело) сталь Р9, верхний образец колодка (выточенный образец из коренного вкладыша).

Дополнительно к машине трения установлена система подачи капельной подачи смазочного материала в площадь контакта образцов, с возможностью регулирования скорости подачи смазочного материала.

Установка образцов

Установить на нижний вал образец. При затягивании гайки удерживайте

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

58

вал вторым ключом. Если не удерживать вал вторым ключом, то может произойти поломка датчика момента. Верхний образец вставить в гнездо на рычаге и установить провода температурного датчика между колодкой и рычагом. При затягивании гайки нижнего образца не прилагать чрезмерных усилий.

Биение нижнего образца проверить индикатором с ценой деления 10 МКМ, максимально допустимое радиальное биение 50 мкм. Наименьшее биение устанавливается поворотом образца. После установки поверхности образцов обезжирить этиловым спиртом.

Приводить в соприкосновение образцы следует плавно, без удара.

Меры безопасности:

1. К работе на машине трения СМЦ-2 допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и ознакомленные с устройством и эксплуатацией данной машины;

2. Основные опасности при работе на машине: поражающие действие электрического тока; воздействие подвижных элементов;

3. Необходимые меры безопасности: заменять образцы следует только после остывания их до температуры окружающей среды; запрещается проводить любые работы, не связанные с испытанием образцов, при включенном электродвигателе привода; запрещается работать в режиме, когда момент трения превышает предельное значение диапазона; запрещается работать при открытом кожухе машины; запрещается работать при неисправном заземлении машины.

Порядок работы на машине СМЦ-2

1. Установите переключатель рода работы на пульте управления в положение (испытание);

2. Установите шкалы нагрузки, момента и счетчика в нулевое положение;

3. Проверить, свободно ли вращается вал нижнего образца;

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		59

4. Включить машину в сеть: штепсель в розетку, пакетный переключатель в положение «вкл» При этом на пульте управления должна загореться сигнальная лампочка «сеть»;
5. Прогреть измерительную систему машины в течение 10 минут;
6. Пустить машину, нажав кнопку «пуск», расположенную на панели управления машины;
7. Включить протяжку бумаги потенциометра. Для этого открыть дверцу и включить тумблер в положение «измерения»;
8. Нагрузить образцы, медленно и плавно вращая винт нагрузителя 4 (рисунок 2.4) и наблюдая за положением стрелки шкалы потенциометра выставить заданную нагрузку по лимбу 10;

Внимание! В случае превышения моментов трения величины $15\text{Н}\cdot\text{м}$ машина автоматически выключается.

9. Провести испытания;
10. Выключить протяжку бумаги;
11. Нажать на кнопку «стоп» расположенную на пульте управления машины и отключить машину от электросети поворотом рукоятки пакетного выключателя, вынуть штепсель из розетки (380 V).

Порядок проведения эксперимента

1. Установить образцы: на нижний вал образец из стали Р9, а в рычаг – выбранную колодку площадью S_1 или S_2 ;
2. Обезжирить рабочие поверхности образцов, протерев их салфеткой смоченной в этиловом спирте или бензине Б-70;
3. Установить провода температурного датчика между колодкой и рычагом;
4. Плавно опустить рычаг с верхним образцом на нижний образец;
5. Емкость подачи смазочного материала необходимо заполнить испытуемым маслом;

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		60

6. Подвести трубку подачи смазочного материала, так чтобы смазочный материал, капая, попадал на нижний образец как можно ближе к площади контакта образцов;

7. Включить машину СМЦ-2 и питание потенциометра;

8. Прогреть электроцепи машины в течение 10 мин;

9. Установить регулятор подачи смазочного материала на нужную скорость подачи;

10. Включить электродвигатель (скорость 500 об/мин);

11. Винтом нагружения установить поочередно нагрузку на образцы;

12. После установки нужной нагрузки, подождать 5с, после чего необходимо записать значение момента трения и значения температуры;

13. При повышении температуры выше 100° необходим включить вентилятор охлаждения и снизить нагрузку на рычаг, чтобы образцы могли остыть;

14. После выполнения эксперимента необходимо установить нагрузитель на нулевое значение. Выключить электродвигатель и регулятор подачи смазочного материала закрыть;

15. Дать остыть примерно 10мин образцам, после их можно извлечь;

16. После испытания одного смазочного материала или колодки, необходимо обезжирить образцы;

17. После испытания одного смазочного материала, емкость подачи смазочного материала необходимо очистить от испытуемого образца. Трубопровод обезжирить, наполнив небольшим количеством обезжиривателя и дать ему стечь в сливную емкость.

						23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата			61

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСЛЕДОВАНИЯ

3.1 Проверка воспроизводимости эксперимента

После проведения эксперимента, необходимо убедиться, что эксперимент воспроизводим. Описание метода проверки воспроизводимости эксперимента взято из работы А.К. Бояршиновой [36].

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 проводят несколько серий параллельных опытов.

Параллельные опыты – опыты, проведенные несколько раз при одних и тех же значениях факторов. Результаты опытов заносятся в таблицу, где k – число параллельных опытов (обычно $k = 2...4$); N – число серий параллельных опытов.

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

$$y_j^3 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ji}, j = 1 \dots N$$

Затем для каждой серии параллельных опытов вычисляют оценку дисперсии:

$$S_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (y_{ji} - y_j)^2$$

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		62

Так как результаты опытов являются величинами случайными, то значения функции цели в параллельных опытах в общем случае будут различными.

Далее нужно определить расчетное значение числа Кохрана G_p (критерий проверки воспроизводимости эксперимента), для этого находят максимальную из оценок дисперсии $\max S_j^2$ и относят к сумме S_j^2 :

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}$$

Значения критерия Кохрана приведены в статистической таблице (Приложение 1 [36]). Они соответствуют доверительной вероятности $P=0,95$, с которой принимается гипотеза о воспроизводимости опытов.

Величина $p=1-P$ называется уровнем значимости.

Для нахождения G_T необходимо знать общее количество оценок дисперсий N и число степеней свободы f , связанной с каждой из них, причем $f=k-1$.

Если выполняется условие:

$$G_p \leq G_T$$

то, опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Если опыты невоспроизводимы, то можно попытаться достигнуть воспроизводимости выявлением и устранением источников нестабильности эксперимента, а также использованием более точных методов и средств измерений.

Наконец, если никакими способами невозможно достигнуть воспроизводимости, то математические методы планирования к такому эксперименту применять нельзя.

3.1 Проверка воспроизводимости эксперимента

Вычисляем среднее арифметическое значение функции отклика и оценку дисперсии для каждой серии параллельных опытов масло моторное М8ДМ (таблица 3.1-3.8):

Таблица 3.1 - Чистое масло без присадок на площади колодки S_1

№ серии опытов	Параллельные опыты						y_j^3	S_j^2
1	0	0	0	0	0,5	0,5	0,167	0,067
2	0	0	0	0,9	0,9	1,25	0,508	0,326
3	0,5	0,5	0,5	1,25	1,25	1,5	0,917	0,217
4	0,9	0,9	1,25	1,7	1,5	1,9	1,358	0,172
5	1,7	1,1	1,7	2,1	1,7	2,1	1,733	0,135
6	1,9	1,5	1,9	2,45	2,1	2,6	2,075	0,162
7	2,2	1,9	2,2	2,85	2,6	2,9	2,442	0,162
8	2,6	2,6	2,7	3	2,7	3,1	2,783	0,046
9	2,9	2,9	2,85	2,9	2,9	3,15	2,933	0,012
10	3,15	3	2,9	3,25	3,1	3,25	3,108	0,019
11	3,25	3,25	3,3	3,3	3,3	3,3	3,283	0,001
12	3,1	3,15	3,15	3	3,1	3,25	3,125	0,007

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для первой серии опытов:

$$G_p = \frac{\max s_j^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2}$$

В результате расчета числа Кохрана получим $G_p = 0,206$.

Так как первая серия опытов не имеет значений (в большинстве опытов) принимаем число серий $N = 11$ и число $f = 6 - 1$. Далее выбираем $G_T = 0,2825$ (приложение 1 [36]).

Условие выполняется: $G_p \leq G_T$, следовательно, опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Таблица 3.2 - Масло с добавлением 5% присадки на площади колодки S₁

№ серии опытов	Параллельные опыты						y_j^3	S_j^2
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0,5	0,5	0,5	0,9	0,5	0,483	0,082
3	0,5	0,9	0,9	0,9	1,25	0,9	0,892	0,056
4	0,9	1,25	1,25	1,25	1,5	1,5	1,275	0,049
5	1,25	1,5	1,5	1,5	1,7	1,5	1,492	0,020
6	1,5	1,9	1,7	1,7	1,9	1,7	1,733	0,023
7	1,7	2,10	1,9	1,9	2,10	1,9	1,933	0,023
8	1,7	2,25	2,25	2,10	2,10	2,10	2,083	0,041
9	2,10	2,4	2,25	2,25	2,25	2,4	2,275	0,013
10	2,25	2,6	2,4	2,4	2,4	2,6	2,442	0,018
11	2,4	2,8	2,7	2,6	2,7	2,7	2,650	0,019
12	2,90	2,90	2,90	2,90	3	2,90	2,917	0,002

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для второй серии опытов: $G_p = 0,237, G_T = 0,2825$. Условие $G_p \leq G_T$ выполняется. Следовательно, опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Таблица 3.3 - Чистое масло без присадок на площади колодки S₂

№ серии опытов	Параллельные опыты						y_j^3	S_j^2
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,5	0,9	0,5	0,5	0,9	0,5	0,633	0,043
3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	0,833	0,027
4	0,9	0,9	1,25	0,9	1,25	0,9	1,017	0,033
5	1,25	1,25	1,25	1,5	1,25	1,25	1,292	0,010
6	1,5	1,5	1,25	1,5	1,5	1,5	1,458	0,010
7	1,5	1,5	1,7	1,5	1,5	1,5	1,533	0,007
8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,700	0,000
9	1,9	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	1,800	0,012
10	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,900	0,000
11	2,1	1,9	2,1	2,1	1,9	2,1	2,033	0,011
12	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,250	0,000

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для третьей серии опытов:
 $G_p = 0,280, G_T = 0,2825$. Условие выполняется: $G_p \leq G_T$, следовательно, опыты
 считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Таблица 3.4 – Масло с добавлением 5% присадки на площади колодки S_2

№ серии опытов	Параллельные опыты						y_j^3	S_j^2
1	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,500	0,000
3	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,5	0,633	0,043
4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,900	0,000
5	1,25	0,9	0,9	1,25	0,9	1,25	1,075	0,037
6	1,25	1,25	1,25	1,5	1,25	1,25	1,292	0,010
7	1,5	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,458	0,010
8	1,5	1,5	1,7	1,5	1,7	1,5	1,567	0,011
9	1,5	1,5	1,7	1,7	1,7	1,5	1,600	0,012
10	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,700	0,000
11	1,7	1,9	1,9	1,7	1,9	1,7	1,800	0,012
12	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,900	0,000

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для четвертой серии
 опытов: $G_p = 0,272, G_T = 0,2825$. Условие выполняется: $G_p \leq G_T$ следовательно,
 опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Масло моторное Hyundai

Таблица 3.5 - Чистое масло без присадок на площади колодки S₁

№ серии опытов	Параллельные опыты				y _j ³	S _j ²
1	0	0	0	0	0,000	0,000
2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,600	0,000
3	0,9	0,9	0,9	1,25	0,658	0,031
4	1,25	1,25	1,25	1,25	0,833	0,000
5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,000	0,000
6	1,7	1,5	1,7	1,5	1,067	0,013
7	1,7	1,70	1,7	1,70	1,133	0,000
8	1,9	1,70	1,9	1,70	1,200	0,013
9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,267	0,000
10	2,25	2,10	2,25	2,10	1,450	0,007
11	2,4	2,4	2,4	2,4	1,600	0,000
12	2,60	2,60	2,60	2,60	1,733	0,000

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для пятой серии опытов:

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}$$

В результате расчета числа Кохрана получим G_p = 0,206.

Так как первая серия опытов не имеет значений (в большинстве опытов) принимаем число серий N = 11 и число f = 4 - 1. Далее выбираем G_T = 0,3495 (приложение 1 [36]). Условие выполняется: G_p ≤ G_T следовательно, опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для шестой серии опытов: G_p = 0,270, G_T = 0,3495. Условие выполняется: G_p ≤ G_T следовательно, опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Таблица 3.6 - Масло с добавлением 5% присадки на площади колодки S_1

№ серии опытов	Параллельные опыты				y_j^3	S_j^2
1	0	0	0	0	0,000	0,000
2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,333	0,000
3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,600	0,000
4	0,9	1,25	1,25	1,25	0,775	0,031
5	1,25	1,5	1,25	1,25	0,875	0,016
6	1,25	1,5	1,5	1,25	0,917	0,021
7	1,5	1,90	1,7	1,5	1,100	0,037
8	1,5	1,90	1,7	1,5	1,100	0,037
9	1,7	2,25	1,9	1,7	1,258	0,067
10	1,9	2,60	1,9	1,9	1,383	0,122
11	2,4	2,4	2,1	2,90	1,633	0,110
12	3,00	3,10	2,85	3,10	2,008	0,014

Таблица 3.7 - Чистое масло без присадок на площади колодки S_2

№ серии опытов	Параллельные опыты				y_j^3	S_j^2
1	0	0		0	0,000	0,000
2	0,9	0,5	0,5	0,5	0,400	0,040
3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,600	0,000
4	1,25	1,25	1,25	1,25	0,833	0,000
5	1,5	1,25	1,25	1,5	0,917	0,021
6	1,7	1,5	1,5	1,7	1,067	0,013
7	1,7	1,50	1,50	1,7	1,067	0,013
8	1,9	1,70	1,70	1,9	1,200	0,013
9	2,1	1,9	2,1	2,1	1,367	0,010
10	2,1	2,10	2,1	2,10	1,400	0,000
11	2,4	2,25	2,25	2,25	1,525	0,006
12	2,60	2,60	2,60	2,60	1,733	0,000

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для седьмой серии опытов: $G_p = 0,343$, $G_T = 0,3495$. Условие выполняется: $G_p \leq G_T$ следовательно, опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

Таблица 3.8 - Масло с добавлением 5% присадки на площади колодки S₂

№ серии опытов	Параллельные опыты				y_j^3	S_j^2
1	0	0			0,000	0,000
2	0,5	0,5	0,9	0,5	0,400	0,040
3	0,9	1,25	1,25	1,25	0,775	0,031
4	0,9	1,25	1,25	1,25	0,775	0,031
5	0,9	1,5	1,25	1,5	0,858	0,081
6	1,25	1,70	1,5	1,70	1,025	0,046
7	1,7	1,70	1,7	1,7	1,133	0,000
8	1,9	1,90	1,7	1,9	1,233	0,010
9	2,1	1,9	1,7	2,1	1,300	0,037
10	2,25	2,1	1,9	2,25	1,417	0,028
11	2,4	2,1	2,1	2,4	1,500	0,030
12	2,4	2,25	2,25	2,4	1,550	0,007

Вычисляем расчетное значение числа Кохрана G_p для седьмой серии опытов: $G_p = 0,238$, $G_T = 0,3495$. Условие выполняется: $G_p \leq G_T$ следовательно, опыты считаются воспроизводимыми, а ряд дисперсий – однородным.

3.2 Обработка экспериментальных данных, построение кривых Герси-Штрибека

Результаты первого эксперимента представлены в таблице 3.9. Условие эксперимента: масло М8ДМ, колодка №1.

Таблица 3.9

N	M	M	M	M	M	M	M _{гр}	f _{гр}
0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,167	
100	0	0	0	0,9	0,9	1,25	0,508	0,113
200	0,5	0,5	0,5	1,25	1,25	1,5	0,917	0,102
300	0,9	0,9	1,25	1,7	1,5	1,9	1,358	0,101
400	1,7	1,1	1,7	2,1	1,7	2,1	1,733	0,096
500	1,9	1,5	1,9	2,45	2,1	2,6	2,075	0,092
600	2,2	1,9	2,2	2,85	2,6	2,9	2,442	0,090
700	2,6	2,6	2,7	3	2,7	3,1	2,783	0,088
800	2,9	2,9	2,85	2,9	2,9	3,15	2,933	0,081
900	3,15	3	2,9	3,25	3,1	3,25	3,108	0,077
1000	3,25	3,25	3,3	3,3	3,3	3,3	3,283	0,073
1100	3,1	3,15	3,15	3	3,1	3,25	3,125	0,063

Находим среднее значение $M_{тр}$ по всем сериям опытов:

$$M_{тр} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения

$$f_{тр} = \frac{M_{тр}}{N \cdot r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.9.

Далее строим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.1).

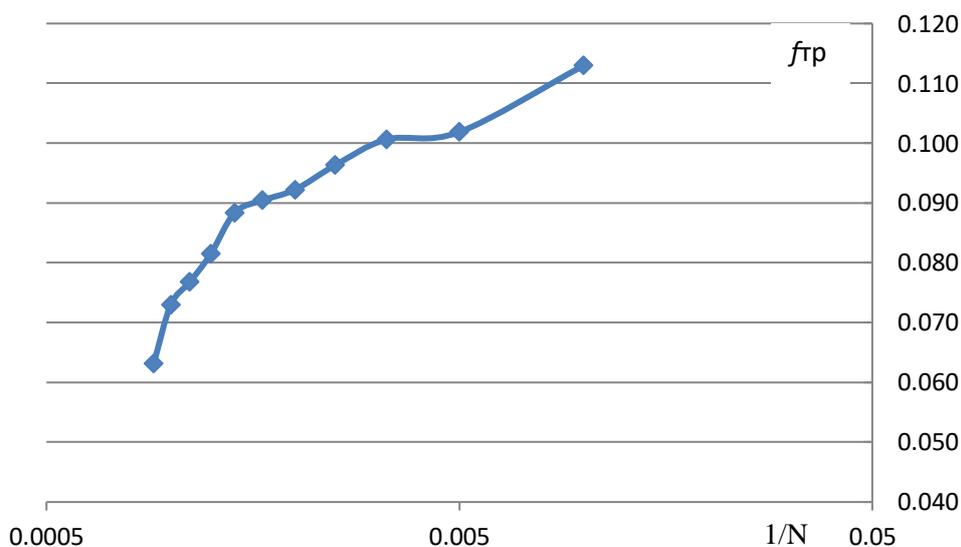


Рисунок 3.1 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

Результаты второго эксперимента представлены таблица 3.10. Условие эксперимента: масло М8ДМ с добавлением 5% присадки, колодка №1.

Таблица 3.10

N	M	M	M	M	M	M	M _{тр}	f _{тр}
0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
100	0	0,5	0,5	0,5	0,9	0,5	0,483	0,107
200	0,5	0,9	0,9	0,9	1,25	0,9	0,892	0,099
300	0,9	1,25	1,25	1,25	1,5	1,5	1,275	0,094
400	1,25	1,5	1,5	1,5	1,7	1,5	1,492	0,083
500	1,5	1,9	1,7	1,7	1,9	1,7	1,733	0,077
600	1,7	2,10	1,9	1,9	2,10	1,9	1,933	0,072
700	1,7	2,25	2,25	2,10	2,10	2,10	2,083	0,066
800	2,10	2,4	2,25	2,25	2,25	2,4	2,275	0,063
900	2,25	2,6	2,4	2,4	2,4	2,6	2,442	0,060
1000	2,4	2,8	2,7	2,6	2,7	2,7	2,650	0,059
1100	2,90	2,90	2,90	2,90	3	2,90	2,917	0,059

Находим среднее значение M_{тр} по всем сериям опытов:

$$M_{\text{тр}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{N * r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.10.

Далее стоим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.2).

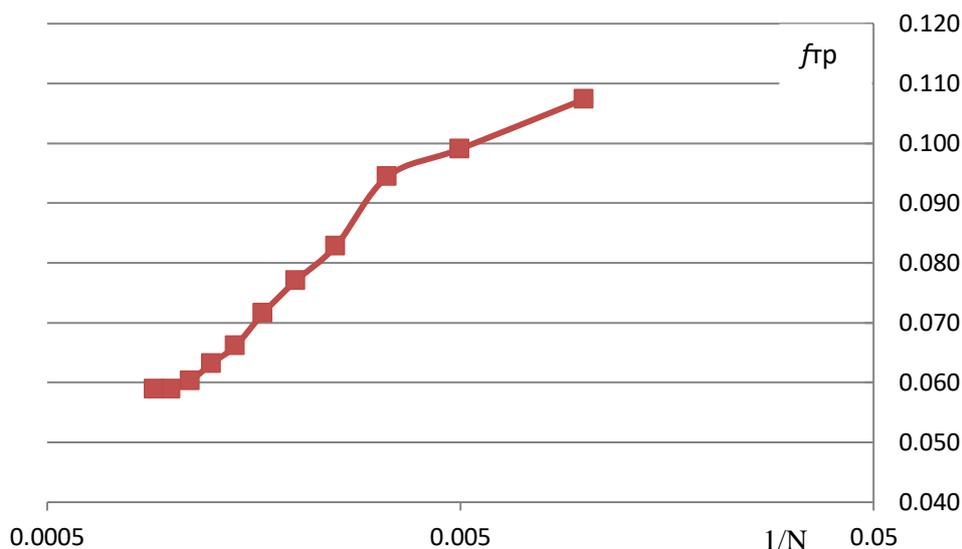


Рисунок 3.2 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

Результаты третьего эксперимента представлены таблица 3.11. Условие эксперимента: масло М8ДМ, колодка №2.

Таблица 3.11

N	M	M	M	M	M	M	M _{тр}	f _{тр}
0	0	0	0	0	0	0	0	
100	0,5	0,9	0,5	0,5	0,9	0,5	0,633	0,141
200	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,900	0,100
300	0,9	0,9	1,25	0,9	1,25	0,9	1,017	0,075
400	1,25	1,25	1,25	1,5	1,25	1,25	1,292	0,072
500	1,5	1,5	1,25	1,5	1,5	1,5	1,458	0,065
600	1,5	1,5	1,7	1,5	1,5	1,5	1,533	0,057
700	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,700	0,054
800	1,9	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	1,800	0,050
900	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,900	0,047
1000	2,1	1,9	2,1	2,1	1,9	2,1	2,033	0,045
1100	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,250	0,045

Находим среднее значение M_{тр} по всем сериям опытов:

$$M_{\text{тр}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{N * r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.11.

Далее стоим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.3).

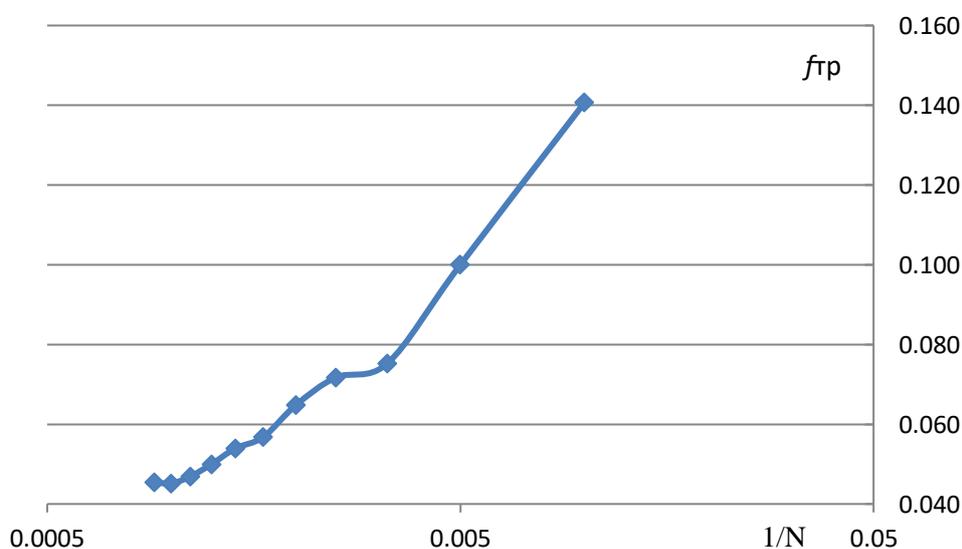


Рисунок 3.3 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

Результаты четвертого эксперимента представлены таблица 3.12. Условие эксперимента: масло М8ДМ с добавлением 5% присадки, колодка №2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
------	------	----------	--------	------

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

73

Таблица 3.12

N	M	M	M	M	M	M	Mтр	f тр
0	0	0	0	0	0	0	0	
100	0,5	0,9	0,5	0,5	0,9	0,5	0,633	0,141
200	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,900	0,100
300	0,9	0,9	1,25	0,9	1,25	0,9	1,017	0,075
400	1,25	1,25	1,25	1,5	1,25	1,25	1,292	0,072
500	1,5	1,5	1,25	1,5	1,5	1,5	1,458	0,065
600	1,5	1,5	1,7	1,5	1,5	1,5	1,533	0,057
700	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,700	0,054
800	1,9	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	1,800	0,050
900	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,900	0,047
1000	2,1	1,9	2,1	2,1	1,9	2,1	2,033	0,045
1100	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,250	0,045

Находим среднее значение Mтр по всем сериям опытов:

$$M_{\text{тр}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{N * r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.12.

Далее стоим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.4).

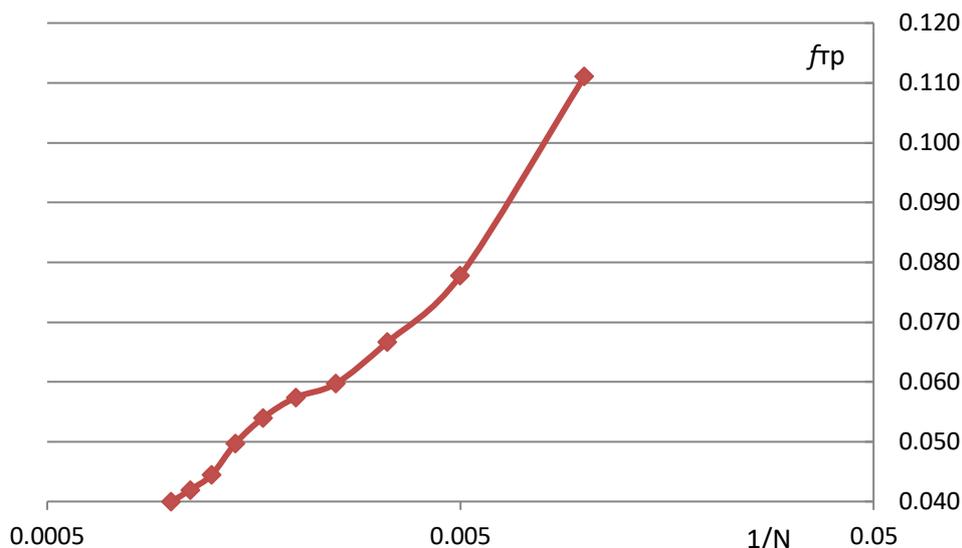


Рисунок 3.4 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

Результаты пятого эксперимента представлены таблица 3.13. Условие эксперимента: масло Hyundai, колодка №1.

Таблица 3.13

N	M	M	M	M	M _{тр}	f _{тр}
0	0	0	0	0	0,000	
100	0,9	0,9	0,9	0,9	0,900	0,200
200	0,9	0,9	0,9	1,25	0,988	0,110
300	1,25	1,25	1,25	1,25	1,250	0,093
400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,500	0,083
500	1,7	1,5	1,7	1,5	1,600	0,071
600	1,7	1,70	1,7	1,70	1,700	0,063
700	1,9	1,70	1,9	1,70	1,800	0,057
800	1,9	1,9	1,9	1,9	1,900	0,053
900	2,25	2,10	2,25	2,10	2,175	0,054
1000	2,4	2,4	2,4	2,4	2,400	0,053
1100	2,60	2,60	2,60	2,60	2,600	0,053

Находим среднее значение M_{тр} по всем сериям опытов:

$$M_{\text{тр}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{N * r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.13.

Далее строим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.5).

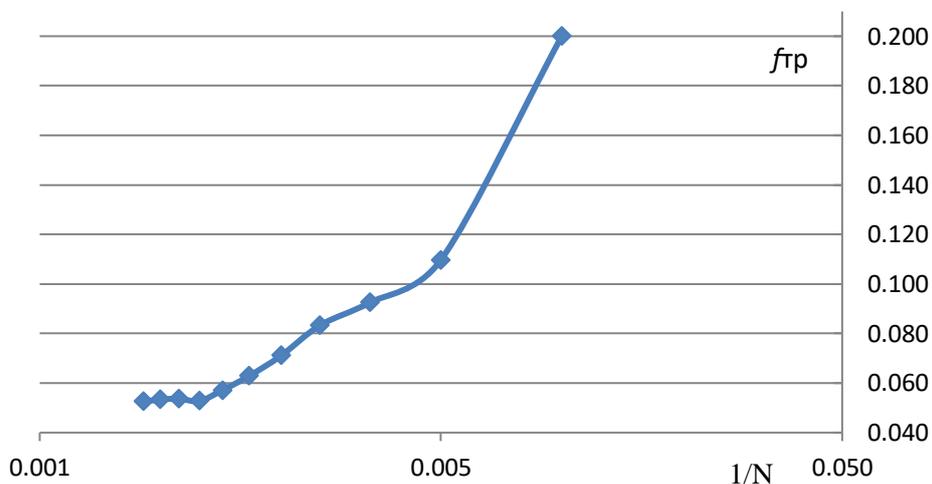


Рисунок 3.5 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

Результаты шестого эксперимента представлены таблицей 3.14. Условия эксперимента: масло Hyundai с добавлением 5% присадки, колодка №1.

Таблица 3.14

N	M	M	M	M	M _{тр}	f _{тр}
0	0	0			0,000	
100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,500	0,111
200	0,9	0,9	0,9	0,9	0,900	0,100
300	0,9	1,25	1,25	1,25	1,163	0,086
400	1,25	1,5	1,25	1,25	1,313	0,073
500	1,25	1,5	1,5	1,25	1,375	0,061
600	1,5	1,90	1,7	1,5	1,650	0,061
700	1,5	1,90	1,7	1,5	1,650	0,052
800	1,7	2,25	1,9	1,7	1,888	0,052
900	1,9	2,60	1,9	1,9	2,075	0,051
1000	2,4	2,4	2,1	2,90	2,450	0,054
1100	3,00	3,10	2,85	3,10	3,013	0,061

Находим среднее значение M_{тр} по всем сериям опытов:

$$M_{\text{тр}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения:

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{N * r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.14.

Далее стоим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.6).

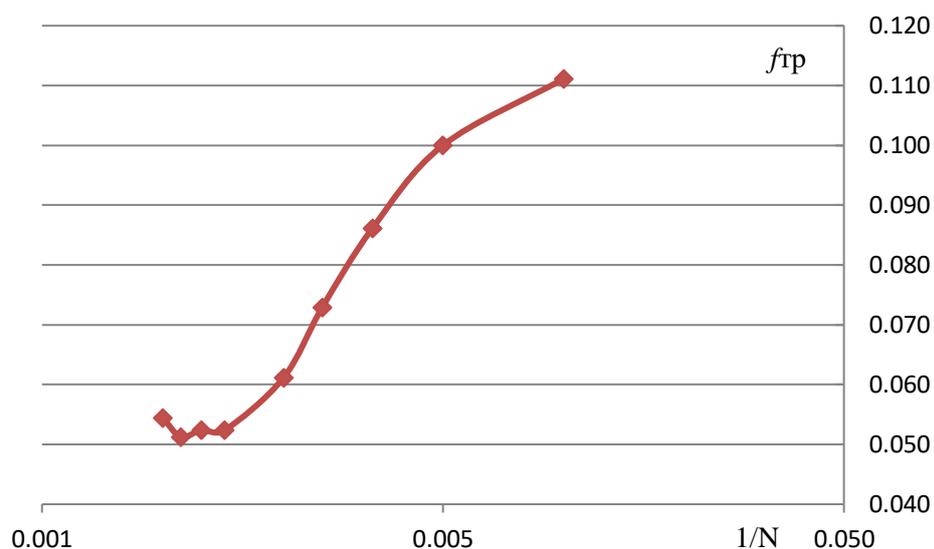


Рисунок 3.6 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

Результаты седьмого эксперимента представлены таблица 3.15. Условие эксперимента: масло Hyundai, колодка №2.

Таблица 3.15

N	M	M	M	M	M _{тр}	f _{тр}
0	0	0		0	0,000	0
100	0,9	0,5	0,5	0,5	0,600	0,133
200	0,9	0,9	0,9	0,9	0,900	0,100
300	1,25	1,25	1,25	1,25	1,250	0,093
400	1,5	1,25	1,25	1,5	1,375	0,076
500	1,7	1,5	1,5	1,7	1,600	0,071
600	1,7	1,50	1,50	1,7	1,600	0,059
700	1,9	1,70	1,70	1,9	1,800	0,057
800	2,1	1,9	2,1	2,1	2,050	0,057
900	2,1	2,10	2,1	2,10	2,100	0,052
1000	2,4	2,25	2,25	2,25	2,288	0,051
1100	2,60	2,60	2,60	2,60	2,600	0,053

Находим среднее значение M_{тр} по всем сериям опытов:

$$M_{\text{тр}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения:

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{N * r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.15.

Далее строим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.7).

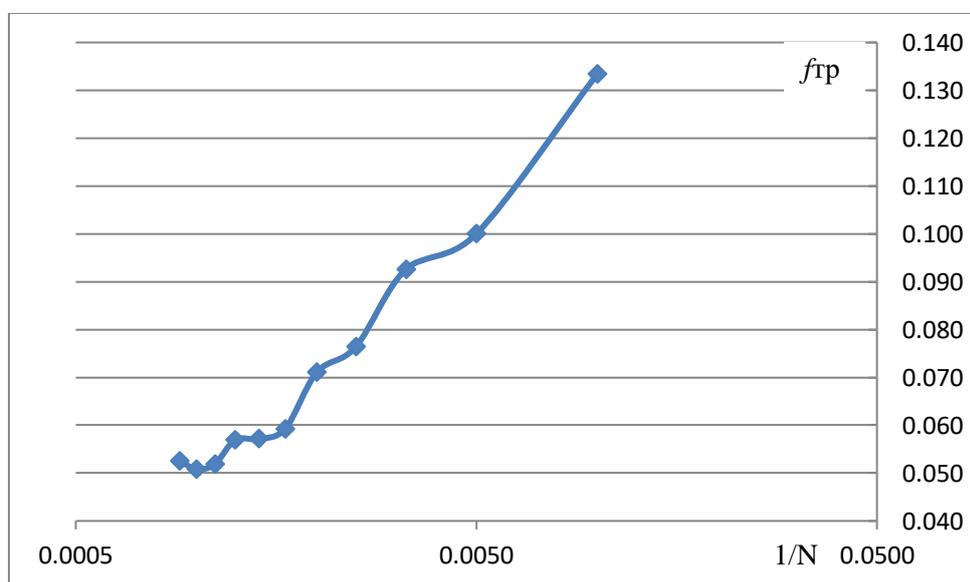


Рисунок 3.7 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

Результаты седьмого эксперимента представлены таблица 3.16. Условие эксперимента: масло Hyundai с добавлением 5% присадки, колодка №2.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
------	------	----------	--------	------

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

Лист

79

Таблица 3.16

N	M	M	M	M	M _{тр}	f _{тр}
0	0	0	0	0		
100	0,5	0,5	0,9	0,5	0,600	0,133
200	0,9	1,25	1,25	1,25	1,163	0,129
300	0,9	1,25	1,25	1,25	1,163	0,086
400	0,9	1,5	1,25	1,5	1,288	0,072
500	1,25	1,70	1,5	1,70	1,538	0,068
600	1,7	1,70	1,7	1,7	1,700	0,063
700	1,9	1,90	1,7	1,9	1,850	0,059
800	2,1	1,9	1,7	2,1	1,950	0,054
900	2,25	2,1	1,9	2,25	2,125	0,052
1000	2,4	2,1	2,1	2,4	2,250	0,050
1100	2,4	2,25	2,25	2,4	2,325	0,050

Находим среднее значение M_{тр} по всем сериям опытов:

$$M_{\text{тр}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k M_{ji}, j = 1 \dots N$$

Находим коэффициент трения:

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{N * r}$$

где N – сила прижатия образцов;

r – радиус нижнего образца 0,045м.

Результаты заносим в таблицу 3.16.

Далее стоим зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.8).

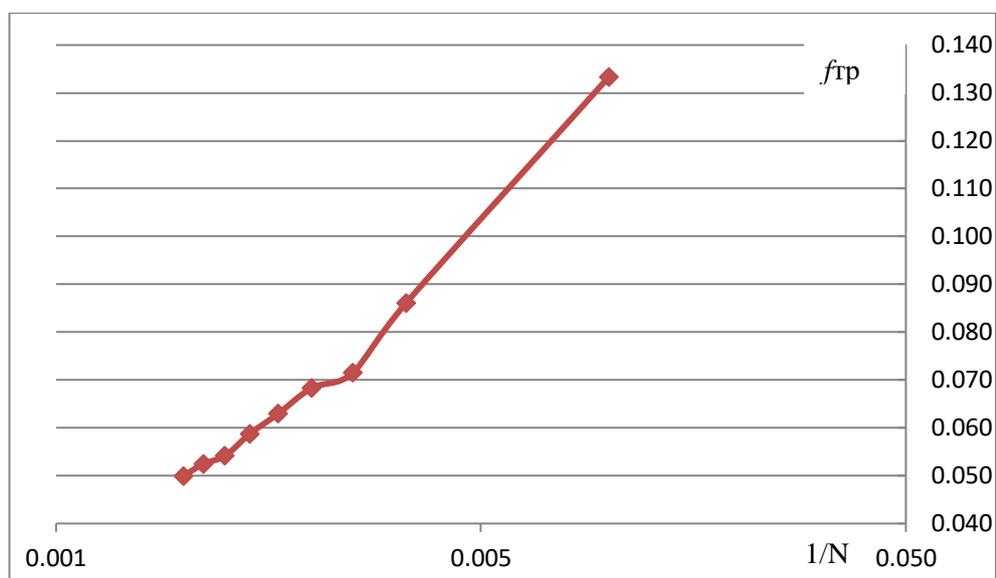


Рисунок 3.8 – Зависимость коэффициента трения от обратной величины силы

3.3 Выводы на основе полученных результатах

На рисунках 3.9-3.12 представлены графики зависимость коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (диаграмма Герси-Штрибека) для масел М8ДМ и Hyundai.

На первом и втором графике (рисунок 3.9-3.10) синей линией показана зависимость величины для чистого масла, а красной линией масла содержащего присадку в общем объеме 5%. На основании графиков можно сделать вывод, что коэффициент трения снизился с добавлением присадки WAGNER Universal Micro-Ceramic-Oil, как на площади S_1 (большей), так и S_2 (меньшей).

Также следует отметить, что температура масла, содержащего присадку, стала более устойчивой и снизилась по сравнению с чистым маслом. Таким образом, присадка показала эффективность применения для минерального масла М8ДМ.

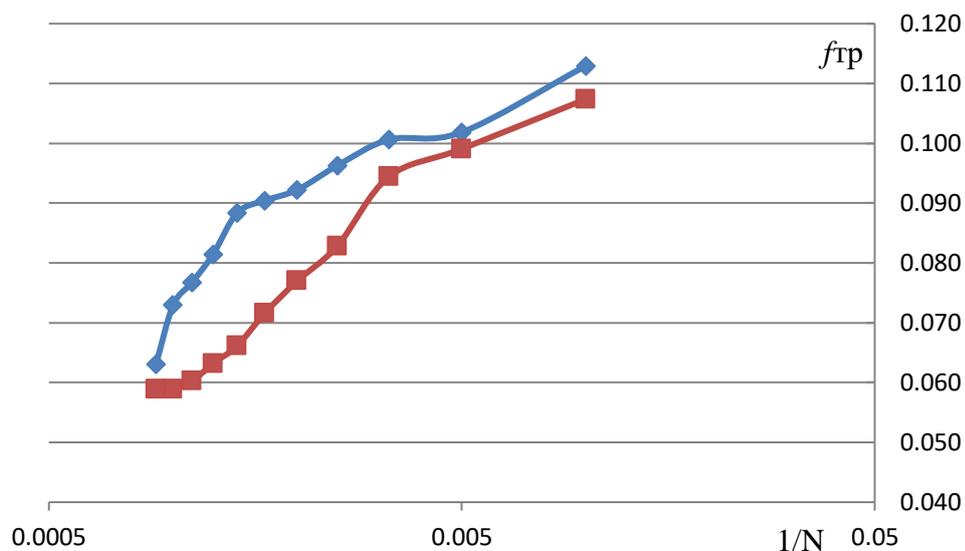


Рисунок 3.9 – результаты масло М8ДМ без присадки и с содержанием 5% присадки на площади колодки S₁

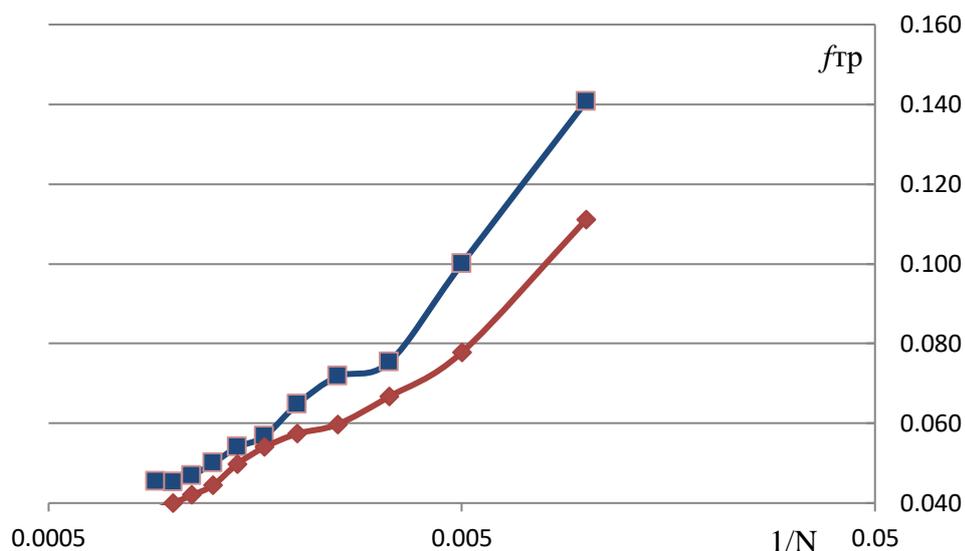


Рисунок 3.10 – результаты масло М8ДМ без присадки и с содержанием 5% присадки на площади колодки S₂

На третьем и четвертом графике (рисунок 3.11-3.12) синей линией показана зависимость величины для чистого масла, а красной линией масла содержащего присадку в общем объеме 5%. На основании первого графика можно сделать вывод, что коэффициент трения в масле, содержащим присадку, снизился только при небольших нагрузках на образцы на площади S₁ (большей), в сравнении с чистым маслом, но при высоких нагрузках

оказался одинаковым в обоих случаях. Изменения в температуре масла не обнаружены.

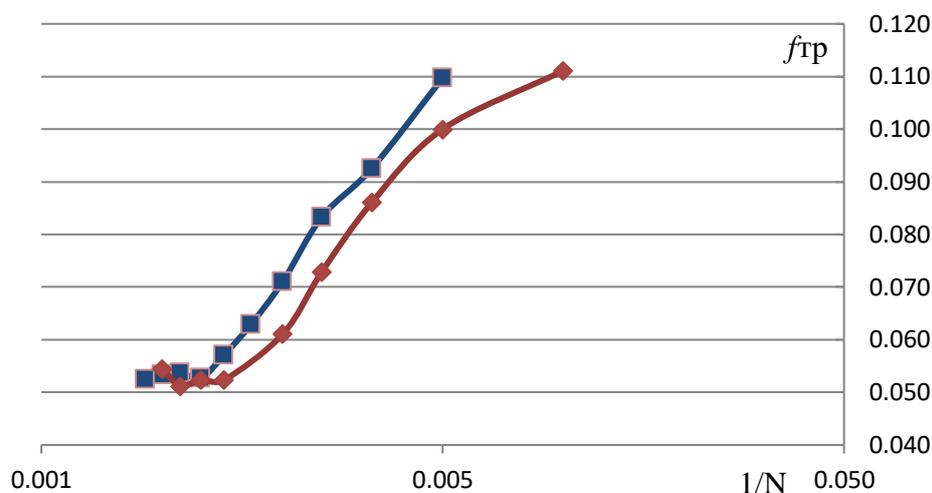


Рисунок 3.11 – результаты масло Hyundai без присадки и с содержанием 5% присадки на площади колодки S₁

На четвертом графике (рисунок 3.12) на площади колодки S₂ (меньшей) коэффициент трения не показал изменений, т.е. изменений после добавления присадки не наблюдается. Также следует отметить, что температура масла, содержащего присадку, не отличалась от температуры чистого масла.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение присадки не целесообразно, так как явных изменений в процессе и результатах эксперимента не наблюдается.

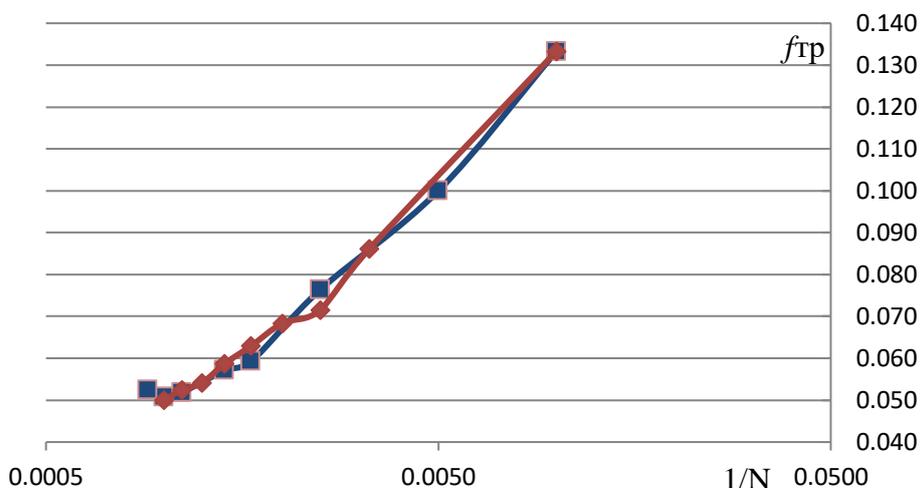


Рисунок 3.12 – результаты масло Hyundai без присадки и с содержанием 5% присадки на площади колодки S₂

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
------	------	----------	--------	------

23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы было изучено состояние рынка моторных масел и многообразие противоизносных присадок в моторное масло. На основании этого была обоснована актуальность данной работы.

Сформирован алгоритм выполнения экспериментальных исследований для изучения влияния противоизносных присадок на свойства моторных масел. Были выбраны образцы моторных масел и изготовлены колодки с разной площадью контакта для проведения экспериментальных исследований.

Проведены экспериментальные исследования по описанному алгоритму и с выбранными образцами масел и колодок (таблица 3.1-3.8).

Экспериментальные исследования были проверены на воспроизводимость и адекватность данных.

По результатам экспериментальных исследований были построены зависимости коэффициента трения от обратной величины силы прижатия образцов (рисунок 3.1-3.8).

Было выполнено сравнения полученных результатов (рисунок 3.9-3.12) и сделаны выводы о проделанной работе.

Результаты исследований показали, что для масла М8ДМ коэффициент трения снизился с добавлением присадки WAGNER, как на площади S_1 (большей), так и S_2 (меньшей). Также, температура масла, содержащего присадку, стала более устойчивой и снизилась по сравнению с чистым маслом. Таким образом, присадка показала эффективность применения для минерального масла М8ДМ.

Для масла Hyundai коэффициент трения в масле, содержащим присадку, снизился только при небольших нагрузках на образцы на площади S_1 (большей), в сравнении с чистым маслом, но при высоких нагрузках оказался

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

одинаковым в обоих случаях. Изменения в температуре масла не обнаружены.

На площади колодки S_2 (меньшей) коэффициент трения не показал изменений, т.е. изменений после добавления присадки не наблюдается. Также следует отметить, что температура масла, содержащего присадку, не отличалась от температуры чистого масла.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение присадки не целесообразно, так как явных изменений в процессе и результатах эксперимента не наблюдается.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		85

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безызносная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: монография / Р.Ю. Соловьев, С.А. Соловьев, Д.А. Гительман [и др.]; под общей ред. Р.Ю. Соловьева. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015. – 196 с.

2. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин: учебное пособие для вузов / В.И. Черноиванов, А.К. Ольховацкий, Р.Ю. Соловьев, Д.А. Гительман, Ю.А. Мазалов; под общей ред. В.И. Черноиванова. – М.: ГНУ ГОСНИТИ, 2010. – 68 с.

3. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий в АПК: монография / В.И. Черноиванов, В.Ф. Федоренко, Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман [и др.]; под общей ред. В.И. Черноиванова. – М.: ГНУ ГОСНИТИ, 2012. – 400 с.

4. 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.

5. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов и др. Под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. И доп. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596с.

6. ГОСТ 17479.1-85. Масла моторные. Классификация и обозначение. Издательство стандартов № 1986 Стандартиформ № 2006. Разработан ВНИТИ. Утверждён 20 декабря 1985 г. Госстандарт СССР. Поправки к документу №1 от 01 декабря 1987 г., ИУС 3-88., №2 от 01 декабря 1991 г., ИУС 2-92№3 от 01 августа 1999 г. ИУС 11-99.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		86

7. А.с.1779756 РФ, МПК F01M9/02. Способ оценки ресурса моторного масла двигателей внутреннего сгорания. / В.В. Чанкин, Т.К. Пугачева, Ю.А. Шапунский и др. 1992, Бюл. №45.

8. А.с.1460364 РФ, МПК F01M9/02. Способ оценки качественного резерва картерного масла в двигателе внутреннего сгорания. / В.В. Чанкин, Л.А. Морозова, Т.К. Пугачева, Ю.А. Шапунский и др. 1989, Бюл. №7.

9. Григорьев, М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей. / М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий. М.: Изд-во стандартов, 1981.- 238с.

10. Арабян, С.Г. Масла и присадки для транспортных и комбайновых двигателей. / С.Г. Арабян, А.Б. Виппер, И.А. Холомонов. – М.: Машиностроение, 1984ю-208с.

11. Трейгер, М. И. Экономное и рациональное использование смазочных мате-риалов / М. И. Трейгер. – ЛДНТИ, 1982. – 280 с.

12. Соколов, А. И. Измерения качества масел и долговечность автомобильных двигателей / А. И. Соколов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1976. – 120 с.

13. Маркова Л.В. Современные требования к контролю работоспособности масла дизельного ДВС. / Л.В. Маркова, Н.К. Мышкин, Х. Конт и др. // Трение и износ. – 2002. Т.23. №4. С. 425-435.

14. Скиндер, Н.И. портативный комплект средств для экспресс-диагностики работающего моторного масла. / Н.И. Скиндер, Ю.А. Гурьянов // ХТТМ. – 2001. С. 38-40.

15. Розенберг, Ю.А. Влияние смазочных материалов на надежность и долговечность машин. / Ю.А. Розенберг. – М.: Машиностроение, 1970. – 315с.

16. А.с. №145060 (СССР), МПК G01 №33/30. Способ определения необходимости замены масла в дизелях. / К.А. Павлов. 1962, Бюл. №4.

17. Васильева, Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебник для вузов. / Л.С. Васильева. – М.: Транспорт, 1986. –

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

18. Безбородов, Ю.Н. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных масел по параметрам термоокислительной стабильности: дис. д-ра. техн. наук. / Безбородова Юрия Николаевича – Красноярск, 2009. – С. 65.

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

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

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

22. Чичинадзе, А.В. Трение износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун, Н.А. Буше [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

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

24. 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.

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

26. 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.

27. 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.

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

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		88

29. 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.

30. 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.

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

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

33. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко. – М.: Машиностроение, 2008. – 384с.

34. Производство и реализация оборудования для физико-механических испытаний материалов. [Электронный ресурс] М., 2010-2016. URL: <http://tochpribor-nw.ru/production/friction-testing/>.

35. Словарь – справочник по трению, износу и смазке деталей машин/ В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровенский, Э.Д. Браун; Наук. думка, 1990. - 264 с.

36. Теория инженерного эксперимента: текст лекций/А.К. Бояршинова, А.С. Фишер. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 85 с.

37. <http://www.oldieoel.de/> Wagner Specialty Lubricants GmbH & Co. KG

38. Шебина С. А. Российский рынок моторных масел: тенденции и особенности коммуникаций // Молодой ученый. — 2017. — №45. — С. 216-218.

39. Источник: <https://www.autostat.ru> © Автостат.

40. Источник: <http://www.gks.ru/> Федеральная служба государственной статистики.

					23 04 03 2018 264 00 00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89