

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

В НИИ РХТУ ИМ. МЕНДЕЛЕЕВА, Г. НОВОМОСКОВСК, ТУЛЬСКОЙ ОБЛ.

Испытания проведены с целью исследования триботехнических свойств ТС НИОД применительно к оборудованию НАК Азот.

Для оборудования НАК Азот характерны триботехнические системы (ТС), в которых реализовано трение качения с проскальзыванием.

В таком режиме трения работают: редуктора мешалок цеха сложных удобрений, барабан-редукторы погрузчиков мешков в вагоны М-2 и ряд других машин. Для реализации данного вида контактного взаимодействия был использован трибометр СМЦ-2, который позволяет моделировать работу узлов трения. Трибометр СМЦ-2 имеет следующие характеристики: Число оборотов вала контртела 300, 500, 1000 об/мин. Коэффициент проскальзывания круглых образцов с одинаковыми размерами 0, 10, 15, 20%.

– Предел допускаемой погрешности коэффициента проскальзывания $\pm 5\%$

– Максимальный момент трения 150 кгс·см
Диапазон изменения нагрузки 20...200 кгс

Испытания были проведены в условиях модельной трибосистемы, элементами которой являлись диски диаметром 60 мм. При этом нижний элемент (контртело) имел ширину 12 мм, верхний элемент (образец) – 10 мм. Твердость элементов трибосистемы составила: для контртела НК-Сз 50...60,

для образца – НРс 40...50. Испытания были проведены в следующем режиме: частота вращения контртела $n=1000$ об/мин; коэффициент проскальзывания $k=20\%$; величина прикладываемой нагрузки 600 Н.

Таким образом, удельная нагрузка составила $q=60$ Н/мм. Величину износа образца определяли по потере массы. Взвешивание образца осуществляли на аналитических весах 2 класса марки АДВ-200, имеющих по-

грешность не более ± 2 мг. Перед взвешиванием образец обезжиривали ацетоном с целью удаления продуктов износа. Испытания были проведены в двух модельных трибосистемах: ТС№1 – смазка ЛИТОЛ, ТС№2 – смазка ЛИТОЛ+НИОД. Основные результаты испытаний приведены в таблице 2.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что после обработки испытуемых образцов ТС№1 и ТС№2 на первом этапе эксперимента, когда в контактной зоне присутствует слой консистентной смазки ЛИТОЛ интенсивность изнашивания материала образцов соизмеримы.

При дальнейших испытаниях образцы в ТС№1 и ТС№2 ведут себя по-разному. При наличии в смазке НИОД интенсивность изнашивания образцов стабилизируется при повторных замерах износа, когда ЛИТОЛ удаляется в результате нагружения на контакте и обезжиривания образцов перед взвешиванием. Интенсивность образцов в ТС№2 составляет величину порядка 0.0037 мг/м. Интенсивность изнашивания образцов в ТС№1 после удаления смазочной пленки возрастает в 2...6 раз по сравнению с ТС№2 и составляет величину порядка 0.023 мг/м.

Необходимо отметить, что применение ТС НИОД также способствует снижению коэффициента трения. Так по результатам эксперимента в ТС№2 коэффициент трения был в среднем в 3 раза меньше чем в ТС№1.

По результатам предварительных экспериментов можно сделать вывод о том, что применение НИОД приводит к снижению интенсивности изнашивания образцов и снижению коэффициента трения. Для определения области эффективного применения НИОД необходимо проведение детальных экспериментальных исследований с вариацией скоростей вращения, проскальзывания и нагрузок на контакте.

**НЕЗАВИСИМЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
«НИИХИММАШ», Г. МОСКВА,**

Независимые исследования «НИИХИММАШ», г. Москва, по возможности повышения работоспособности узлов при высоких нагрузках проводили на стенде НИИХИММАШ – возвратно-поступательной машине трения (ВПМ), позволяющей создавать давление до 5000 кг/см². Рабочий узел установки состоял из двух перекрещивающихся цилиндров, один из которых закреплен неподвижно, а другой совершает возвратно-поступательное движение. Смазочную среду подавали непосредственно в зону трения, предварительно приготовив ее следующим образом: в двигательное масло марки М8Б1 малыми дозами при интенсивном перемешивании добавляли порошок НИОД в количестве 30 г/л, затем смесь перемешивали механическим способом до получения однородной массы. Рабочие образцы изготавливали из стали Ст45 (НРс 35) и стали ХВГ (НРс 46-48). Удельное давление изменяли от 100 до 1000 кг/см². В процессе трения измеряли коэффициент трения, а после испытаний – определяли скорость изнашивания. С этой целью с рабочей поверхности неподвижного образца на профилографе «Колибр-201» снимали профилограмму.

Для определения возможности повышения работоспособности узла трения за счет работы непосредственно в смазке, содержащей НИОД-2, без последующего слива и замены смазки использовали лабораторный стенд МТ-1, имитирующий работу сопряженных поверхностей трения таких, как подшипники скольжения, сальниковые набивки, колеса редукторов и т.п. Проведены испытания стали Ст. 45 при трении по стали ХВГ при удельном давлении 100 кг/см² в течение 200 часов. Трение осуществляли в двигательном масле, содержащем 30 г/л НИОД-2, при постоянном

Таблица 2. Основные результаты испытаний.

№ п/п	ТС №2 ЛИТОЛ + НИОД			ТС №1 ЛИТОЛ		
	Путь трения, м	Массовый износ, мг	Интенсивность изнашивания, мг/м	Путь трения, м	Массовый износ, мг	Интенсивность изнашивания, мг/м
1	373.2	3.3	0.008842	373.2	1.65	0.004421
2	373.2	0.7	0.001876	373.2	0.3	0.000804
3	373.2	1.3	0.003483	373.2	4.4	0.01179
4	173.4	2.3	0.1326	373.2	0.4	0.001072
5	173.4	1	0.005767	373.2	9.3	0.02492
6	614.5	0.8	0.001302	373.2	7.4 -	0.01983
7	614.5	3.2	0.005207	373.2	8.4	0.022508
8	614.5	1.6	0.002604	373.2	9.4	0.02519

перемешивании, что обеспечивало максимальный доступ порошка в зону трения.

Кроме этого, на стенде МТ-1 были проведены сравнительные испытания антифрикционных свойств сальниковой набивки без обработки и обработанной смазкой, содержащей НИОД-2. С этой целью в места крепления неподвижного образца закрепляли сальниковую набивку марки АП. Для пропитки сальниковой набивки использовали масло М8Б1, содержащее 20 г/л НИОДа-2 и нагретое до 100°C. Сальниковую набивку на 2-3 часа помещали в нагретое масло, содержащее порошок. После пропитки сальниковую набивку устанавливали в гнезда неподвижного образца. Контртелом служил образец из стали Ст45, давление в паре трения составляло 5 кг/см².

Скорость скольжения - 0,36 м/с. Работоспособность сальниковой набивки, прошедшей обработку НИОДом-2, оценивали путем сравнения коэффициента трения и температуры в зоне трения с этими параметрами для исходной набивки (без обработки).

Испытания узлов трения на авиационном предприятии «Рубин» проводили на стендах, имитирующих работу торцовых уплотнений, в которых парой трения служила бронза и сталь Х12Ф1 (65 ННс). В течение 3-4 часов пару трения прирабатывали в авиационной жидкости, содержащей 30 г/л. НИОДа-2, затем рабочую среду сливали и испытания пары трения проводили в авиационной жидкости, не содержащей НИОД-2.

Экспериментальная часть

Исследования показали, что при трении в интервале давлений от 70 до 1000 кг/см², в присутствии в масле порошка НИОД-2 происходит снижение в 1,5-2 раза скорости изнашивания пары трения и уменьшение значения коэффициента трения почти в 10 раз. При этом на поверхности стали, проработавшей в масле с НИОДом-2, отсутствуют следы схватывания даже при давлении 1000 кг/см², в то время, как без НИОДа схватывание поверхности металла наблюдается уже при давлении около 40 кг/см².

Испытания, проведенные на машине трения МТ-1, показали, что узел трения (Ст45 по ХВГ), работавший в масле, содержащем НИОД-2, имеет достаточно высокий ресурс работы. Это подтверждается тем, что при испытании пары трения в масле, содержащем НИОД-2, при давлении в паре трения 100 кг/см², в течение 200 час. температура смазки сохраняла постоянное значение (28°C), при этом значение коэффициента трения не превышало 0,002 (при исходном

0,01) После 200 часов испытаний, поверхность трения была гладкой, а на профилеграмме, снятой с поверхности трения после испытаний, износа не обнаружено. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения порошка НИОД-2 для повышения работоспособности узлов трения без последующего слива смазки.

Испытания сальниковой набивки при трении по стали Ст45 показали, что сальниковая набивка, предварительно обработанная смазкой, содержащей НИОД-2, имеет более низкий коэффициент трения и температуру в зоне трения, чем сальниковая набивка без пропитки, что свидетельствует об улучшении антифрикционных параметров.

Таким образом лабораторные испытания, проведенные на стендах отдела, позволили установить, что при введении НИОДа-2 в смазку узла трения происходит улучшение его антифрикционных параметров - уменьшение значения коэффициента трения и нагрузки схватывания, повышение износостойкости и поддержание температуры смазки на низком уровне.

В настоящее время нашим отделом совместно с «Рубином» проводится разработка технологии повышения работоспособности узлов трения, включающих цветные металлы (бронзу, латунь и т.п.), с помощью ТС НИОД.

ГП «ЗАВОД ИМ. МАЛЫШЕВА», Г.ХАРЬКОВ

На ГП «Завод им. Малышева», г.Харьков, испытания выполнены с целью определения влияния триботехнических составов НИОД-2 и НИОД-5 на параметры трения и износостойкость рабочих поверхностей деталей узлов трения. Данная работа проведена во исполнение указания ГИ ГП «Завод имени Малышева» в соответствии с планом, утвержденным 9.09.98г.

1. Исследуемые материалы и смазки.

Для сравнительных исследований и испытаний изготовлены образцы материалов и деталей, в том числе:

А. Гильза-поршневое кольцо двигателей Д100 и Д80.

Б. Коленвал-вкладыш двигателей Д100 и Д80.

В. Зубчатые сопряжения технологического оборудования.

В качестве смазок использовали масла М14Б2, И-20А и консистентную смазку Литол-24 без добавления и с добавлением составов НИОД-2 и НИОД-5.

2. Методы исследований и аппаратура.

Трибологические испытания проводили на машинах трения СМЦ-2, 2070 СМТ-1 и на машине трения с возвратно-поступательным движением /МТВПД/ по схемам: «диск-диск»-трение качения с проскальзыванием, «диск-колодка» и «гильза-поршневое кольцо»-трение скольжения.

Смазку осуществляли методами окунания подвижного контртела, капельным способом, а также однократным смазыванием контртел в начале испытаний.

Величину износа определяли весовым методом на аналитических весах ВЛА-200 взвешиванием образцов до и после испытаний с точностью 10-4 Г. Значение силы трения определяли путем пересчета непрерывно регистрируемых моментов сил трения, регистрируемых тензометрически, и по величине скручивания торсионного вала.

3. Результаты испытаний.

3.1. Сопряжения: гильза-поршневое кольцо.

Испытания проведены на машине трения МТВПД в условиях возвратно-поступательного движения. Испытывали образцы гильз цилиндров из легированного чугуна ГЧ с лазерной закалкой, хромированных поршневых колец из высокопрочного чугуна (ВЧ) без прирабочных покрытий.

Обработку составами НИОД-2 и НИОД-5 производили путем нанесения этих составов на поверхности трения образцов в виде композиции со смазкой Литол-24 (2% вес) в начале испытаний и повторно, через 10 часов испытаний. Для того, чтобы исключить влияние смазки Литол-24 на результаты сравнительных испытаний, производили также испытания образцов, обработанных смазкой Литол-24 без составов НИОД. Испытания проводили в течении 40 часов при общей нагрузке 1, ОКН и скорости скольжения, 0-1,3 м/с.

Результаты испытаний приведены в таблице 3. Анализ полученных результатов свидетельствует о существенном (в 8,7 раз) уменьшении износа поршневых колец при обработке рабочих поверхностей сопряжения гильза-поршневое кольцо составом Литол-24 + 2% НИОД-5.

Износ образцов сопряжения гильза-поршневое кольцо, обработанных составом Литол-24 + 2% НИОД-2, несколько больше, чем обработанных составом Литол-24 + НИОД-5. Однако, и в этом случае износ поршневых колец меньше (~ в 2 раза), чем износ поршневых колец при обработке сопряжения смазкой Литол-24 без добавления составов НИОД.

Износ образцов сопрягаемых гильз цилиндров при испытаниях с добавлением и

Таблица 3. Результаты испытаний сопряжений гильза-поршневое кольцо в условиях возвратно-поступательного трения (40 часов)

№ п/п	Обработка поверхностей трения	Износ гильзы (материал - ГЧ с лазерной закалкой), г	Износ кольца (материал - ВЧ с эл. лит. Ст покр.), г
1	Литол-24	0,1642	0,0026
2	Литол-24 + НИОД-2	0,1689	0,0016
3	Литол-24 + НИОД-5	0,1503	0,0003

Таблица 4. Результаты испытаний на износостойкость в условиях трения качения с проскальзыванием (P = 20кН, V = 1,3м/с. K = 20%).

Материал контртел:	Смазка	Износ, г
38ХС изотермическая закалка	И-20А	0,0070
38ХС изотермическая закалка	И-20А + 1% НИОД-5	0,0034

без добавления составов НИОД в смазку Литол-24 отличается в меньшей степени, чем износ поршневых колец. Наименьшие значения износа образцов гильз получены при испытаниях с введением НИОД-5.

3.2. Сопряжения зубчатых передач.

Испытания материалов применительно к зубчатым передачам узлов трения проводили по схеме качения с проскальзыванием. Испытывали образцы из стали 38ХС после изотермической закалки (42 – 44НRCэ). Смазку осуществляли индустриальным маслом И-20А без добавления и с добавлением состава НИОД-2 в количестве 1%. Испытания проводили в течении 10 часов. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Испытания показали, что с присадкой НИОД-2 к маслу И-20А в количестве 1% (вес) износ образцов упрочненной изотермической закалкой стали 38ХС уменьшается, что свидетельствует о целесообразности использования триботехнического состава НИОД-2 с целью уменьшения износа зубчатых передач.

Выводы:

1. Проведены испытания по определению эффективности использования составов НИОД-2 и НИОД-5, с целью уменьшения износа деталей цилиндро-поршневой группы двигателей типа Д100 и Д80 и зубчатых передач технологического оборудования.

2. Полученные результаты свидетельствуют о том, что обработка рабочих поверхностей сопряжения гильза-поршневое кольцо смазкой Литол-24 с добавлением 2% составов НИОД-2 и НИОД-5 приводит к существенному (в 2 и в 8,7 раз, соответственно) уменьшению износа поршневых колец.

3. Обработка рабочих поверхностей смазкой с добавлением состава НИОД-5 также уменьшает износ сопрягаемых образцов гильз цилиндров.

4. Испытание образцов в условиях трения качения с проскальзыванием при смазке маслом И-20А с добавлением 1% состава НИОД-2 применительно к зубчатым передачам технологического оборудования, показали уменьшение износа образцов изотермически закаленной стали 38ХС в 2 раза. Результаты испытаний образцов сопряжений коленвал-вкладыш, а также зависимости значений коэффициентов трения от нагрузок будут представлены во второй части отчета.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ОКБ ФИРМА «РУССКИЙ ДИЗЕЛЬ», Г.С-ПЕТЕРБУРГ.

1. Объект испытаний.

Объектом испытаний является ТС НИОД, разработанный фирмой «Энион-Балтика» для пассивации узлов трения машин и механизмов с целью увеличения их ресурса и надежности.

2. Цель испытаний.

Целью испытаний является оценка возможности использования триботехнических составов НИОД для обработки (пассивации) деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС), преимущественно пары трения поршневое кольцо – втулка рабочего цилиндра, а также уменьшения времени приработки деталей ЦПГ.

3. Общие Положения.

3.1. Настоящие испытания проведены в лаборатории «Трения и смазки» ОКБ фирма «Русский дизель» по утвержденной и согласованной программе МТ-ПМ.

3.2. Испытания проведены по методике, разработанной Институтом машиноведения Академии наук Российской Федерации. В основу метода заложена схема трения с переменной площадью контакта. Испытания проводились по схеме: «подвижный диск неподвижный диск».

3.3. Общее время испытаний – 5 часов. Нагрузка в контакте переменная от 0 до 30 кгс, что обеспечивало удельное давление от 0 до 275 кгс/см.кв.

3.4. В процессе испытаний фиксировали температуру поверхности вращающегося образца (метод скользящей термодулы), момент трения; каждый час работы измеряли износ неподвижного образца по величине пятна износа.

4. Подготовка к испытаниям.

4.1. Подготовка к испытаниям следующих пар трения:

- гальванический хром (сегмент поршневого кольца) - чугун НВ207-215;
- гальванический хром (сегмент поршневого кольца) - сталь 40Х цементованная НКс 55..57;
- сталь 40Х цементованная - сталь 40Х цементованная (в дальнейшем ст.40Х);
- серый чугун - серый чугун.

4.2. Подготовка к испытаниям машины трения СМЦ-2 и контрольно-измерительных приборов - в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

4.3. Подготовка смазочного масла к испытаниям (М-10Г2К +1.5% НИОД и +3% НИОД), настройка дозатора масла на подачу 10 капель в минуту (в период приработки) и 4 капли в минуту (при установившемся режиме трения).

Этот пункт отрабатывается непосредственно перед испытаниями.

5. Проведение испытаний.

5.1. Настройка и запуск оборудования.

5.2. Приработка образцов осуществлялась по следующей схеме (рекомендации фирмы «Энион-Балтика»):

Первые 30 мин. - нагрузка до 5 кгс, работа 4-5 минут, снижение нагрузки до 0, работа 1 мин.; следующий этап - нагрузка до 10 кгс, работа 4-5 минут, снижение нагрузки до 0, работа 1 минуту; и т.д.... до нагрузки 30 кгс.

Остановка машины трения, замер износа. Вторые 30 минут - работа по той же схеме, *но диапазон изменения нагрузки 10 кгс.

Остановка машины трения, замер износа, промывание дозатора. Дальнейшая работа проводилась на чистом масле (без НИОД).

6. Результаты испытаний.

6.1. Испытания пары трения СТ.40Х - ст.40Х.

Применение ТС НИОД положительно сказывается как на режиме приработки, так и на дальнейшую работу пары трения 40Х - 40Х, облегчается процесс приработки, уменьшается приработочный износ. На установившемся режиме трения температура образца уменьшилась на 5 градусов С, момент трения - на 4 кгс*см. (17 %), скорость изнашивания - на 20 %.

Для приработанной пары 40Х - 40Х введение НИОД в масло в количестве 1,5 % массы вызывает незначительное увеличение температуры, момента трения, износов, которое через полчаса работы стабилизируется на более низком уровне, чем для такой же пары трения но на чистом масле. При этом время стабилизации приработки параметров сокращается практически в два раза.

6.2. Испытания пары хром гальванический - чугун. НИОД способствует сокращению периода приработки практически в 3 раза при примерно одинаковом приработочном износе. Температура в конце испытаний снизилась на 25 градусов С, момент трения на 2,5 кгс*см. Скорость изнашивания уменьшилась на 40 %.

6.3. Испытания пары трения хром гальванический - сталь 40Х. НИОД сокращает время приработки примерно на 30 % при одновременном уменьшении приработочного износа. Довольно существенно уменьшается скорость изнашивания (в 3-4 раза). Момент трения и температура образцов остаются практически одинаковыми на протяжении всего периода после приработки.

6.4. Испытания пары трения чугун - чугун. НИОД сокращает время приработки чугунных образцов в 2 раза, но при этом примерно в 1,6 - 1,7 раза увеличивается приработочный износ. После окончания приработки температура образцов, моменты трения и скорости изнашивания остаются практически одинаковыми на протяжении всего периода испытаний.

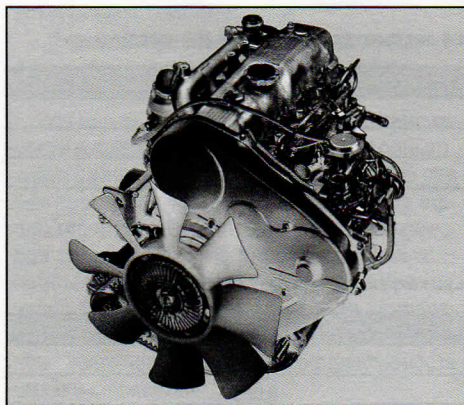
7. Выводы и рекомендации.

7.1. Практически для всех испытанных материалов НИОД способствует уменьшению периода приработки в среднем в 1,5 - 2 раза. Приработочный износ может как уменьшаться, так и увеличиваться. Это зависит от конкретного сочетания материалов пары трения.

7.2. НИОД способствует снижению температуры образцов на 5 – 25 °С и момента трения на 5 – 15.

7.3. Практически для всех испытанных материалов (за исключением пары чугун - чугун) НИОД способствует снижению скорости изнашивания, причем наиболее заметно для пары хром гальванический - чугун, и хром гальванический - сталь 40Х цементованная, соответственно в 1,7 и 3,4 раза.

7.4. Триботехнический состав НИОД рекомендуется в качестве эффективного средства для улучшения качества приработки и сокращения времени обкатки деталей цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания и поршневых компрессоров.



**ДЕПАРТАМЕНТ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА
ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМ. АДМ. Г.И. НЕВЕЛЬСКОГО,
КАФЕДРА «СУДОВЫЕ ДВС»**

Выписка из отчёта о стендовых испытаниях триботехнического состава НИОД-5 на двигателе 4NVD24.

Испытания триботехнического состава (ТС) НИОД-5 проводились в дизельной лаборатории кафедры «Судовые двигатели внутреннего сгорания» ДВГМА им. адм. Г.И. Невельского на двигателе 4NVD24.

Цель испытаний: определить эффективность ТС НИОД-5 для пар трения в условиях

стендовых испытаний на среднеоборотном двигателе 4NVD24.

В испытаниях принимали участие сотрудники кафедры СДВС, фирмы «Российские технологии» и представитель инспекции Российского Морского Регистра Судоходства.

Согласно программе испытаний были проведены:

⇒ замеры плотности камеры сгорания,

⇒ индицирование двигателя,

⇒ замеры зазоров в подшипниках до обработки двигателя ТС НИОД-5.

Затем по специальной методике, рассчитанной для конкретного двигателя, была

произведена обработка двигателя ТС НИОД-5. И после выполнения программы испытаний были вновь сделаны те же измерения.

Замеры плотности камеры сгорания измерялись прибором ПИ-Д, согласно требований РД 31.20.50 - 87.

Зазоры в головных и мотылевых подшипниках измерялись безразборным способом прибором «СЕКОМ», в рамовых подшипниках свинцовыми выжимками.

Индицирование двигателя проводилось пиметром и механическим индикатором типа «Майгак».

Данные этих замеров представлены в таблицах 5–10.

Таблица 5. Замеры плотности камеры сгорания двигателя 4NVD24 прибором ПИ-Д до обработки ТС НИОД-5

№ цил.	P_1 , бар	P_2 , бар	P_3 , бар	$P_{ср}$, бар
1	4,75	4,75	4,75	4,75
2	4,75	4,75	4,75	4,75
3	4,8	4,75	4,75	4,76
4	4,85	4,85	4,75	4,8
Дата 19.01.01 Дизельная лаборатория ДВГМА Двигатель 4NVD24 Диаметр цилиндра - 0,175 м Диаметр дросселя - 1,5 мм				

Таблица 6. Замеры плотности камеры сгорания двигателя 4NVD24 прибором ПИ-Д после обработки ТС НИОД-5

№ цил.	P_1 , бар	P_2 , бар	P_3 , бар	$P_{ср}$, бар
1	5,0	5,0	-	5,0
2	4,9	4,9	-	4,9
3	4,9	4,9	-	4,9
4	4,9	4,9	-	4,9
Дата 13.04.01 Дизельная лаборатория ДВГМА Двигатель 4NVD24 Диаметр цилиндра - 0,175 м Диаметр дросселя - 1,5 мм				

Таблица 7. Замер зазоров в головных и мотылевых подшипниках безразборным способом прибором «СЕКОМ» до обработки ТС НИОД-5

Параметр замера	Номер цилиндра			
	1	2	3	4
Зазор в головном подшипнике δ , мм	0,07	0,07		0,07
Суммарный зазор Σ , мм	0,18	0,15		0,14
Зазор в мотылевом подшипнике δ_m , мм	0,11	0,08		0,07
Дата 19.01.01 Дизельная лаборатория ДВГМА Двигатель 4NVD24				

Таблица 8. Замер зазоров в головных и мотылевых подшипниках безразборным способом прибором «СЕКОМ» после обработки ТС НИОД-5

Параметр замера	Номер цилиндра			
	1	2	3	4
Зазор в головном подшипнике δ , мм	0,05	0,05	0,05	0,05
Суммарный зазор Σ , мм	0,16	0,14	0,12	0,12
Зазор в мотылевом подшипнике δ_m , мм	0,11	0,09	0,07	0,07
Дата 13.04.01 Дизельная лаборатория ДВГМА Двигатель 4NVD24				

Таблица 9. Результаты замеров параметров рабочего процесса двигателя 4NVD24 до обработки ТС НИОД-5

Наименование параметра	Обозначение, размерность	Номер цилиндра			
		1	2	3	4
Давление сжатия	P_c , бар	42.2	46.6	40.0	42.2
Максимальное давление сгорания	P_z , бар	44.4	57.8	65.5	58.9
Среднее давление за цикл	P_e , бар	2.6	3.4	3.4	3.7
Дата 19.01.01 Дизельная лаборатория ДВГМА Двигатель 4NVD24 Показания: амперметра 125А, вольтметра 160В					

Таблица 10. Результаты замеров параметров рабочего процесса двигателя 4NVD24 после обработки ТС НИОД-5

Наименование Параметра	Обозначение,	Номер цилиндра			
		1	2	3	4
Давление сжатия	P_c , бар	44.4	48.9	42.2	42.2
Максимальное давление Сгорания	P_z , бар	48.9	60.0	55.5	60.0
Среднее давление за цикл	P_e , бар	3.3	3.4	3.4	3.7
Дата 13.04.01 Дизельная лаборатория ДВГМА Двигатель 4NVD24 Показания: амперметра 125А, вольтметра 160В					

КОНЦЕРН «АМКОДОР», Г. МИНСК

В Концерне «Амкодор», г. Минска по проведенным испытаниям получены следующие результаты:

1. Проведенные испытания подъемника СТО-34 со стальной парой винт-гайка, обработанными порошком ТС НИОД подтверждают значительное уменьшение коэффициента трения, что позволило выполнить полный цикл ресурсных испытаний (1000 циклов подъема-опускания груза 2000 кг) со штатным электродвигателем 3 кВт и дополнительно 1000 циклов с двигателем 2,2 кВт с грузом 2250 кг., без дополнительной обработки стальной пары винт-гайка.

2. Максимальный груз, который был поднят подъемником в конце испытаний с двигателем 3 кВт, составил 3300 кг.

3. Количество циклов с электродвигателем 2,2 кВт и с грузом 2250 кг., составило 1100.

4. Рекомендации.

4.1. Исходя из результатов испытаний, в конструкцию подъемника СТО-34 могут быть внесены следующие изменения:

– заменить гайку из бронзы БрАЖ9-4 на гайку из стали 45 с обработкой пары винт-гайка смазкой ТС НИОД;

– заменить двигатель 3 кВт на 2,2 кВт.

4.2. Приработка пары винт-гайка порошком ТС НИОД в технологическом процессе изготовления подъемника должна составлять не менее 400 циклов с постепенным увеличением нагрузки по 180...200 кг до достижения 2000 кг.

4.3. Проведенные испытания показали, что использование порошка ТС НИОД в узлах трансмиссий машин, создаваемых концерном «Амкодор», позволит значительно увеличить их срок службы. На основании этого рекомендуется провести испытания порошка ТС НИОД в мостах, коробках, РО-Мах и прочих узлах, выпускаемых ОЭЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ВТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА (ТС) НИОД (ПОРОШКОВ Н-2 И Н-5)

Всероссийским теплотехническим научно-исследовательским институтом в период с 1.09.01 г по 15.12.01 г. были проведены следующие исследования:

– влияние температуры на унос порошков ТС НИОД (теплостойкость);
– трибологические свойства порошков Н-2 и Н-5 в условиях точечного контакта.

Исследования трибологических свойств порошков ТС НИОД (износ, несущая способность, тепловыделение при трении) проводились на машине трения АОТ ВТИ, работающей по принципу: трение неподвижного шарика по вращающейся плоскости шайбы, и представляющую собой однопозиционную модель по типу упорного подшипника с одним плоским кольцом (материал деталей трения при основных испытаниях – сталь ШХ15).

В процессе испытаний фиксировались контактные давления в зоне трения, износ тел трения и приработочные свойства (по скорости роста тепловыделения),

В результате проведенных исследований установлено;

1. Теплостойкость триботехнических составов НИОД-4 при температурах 100 ± 300°C составляет 0,2-1,15% вес., что в 2-10 раз выше по сравнению с твердыми смазками типа графит и дисульфид молибдена.

Поэтому, повышение температуры в подшипнике до 100°C не приведет к уносу порошка из смазки и, следовательно, к изменению его концентрации.

При увеличении температуры эксплуатации подшипника до 300°C необходимо учитывать температурный фактор уноса ТС НИОД во избежание уменьшения рабочей концентрации порошка НИОД.

2. Результаты трибологических исследований в условиях точечного контакта, для смазочных систем НИОД + Литол-24; НИОД+ТП-22С; НИОД+ЦИАТИМ-201 подтвердили возможность эксплуатации ТС НИОД в подшипниках качения при максимальных напряжениях $Q_{max} < 1600$ МПа

Добавление ТС НИОД в смазки (при оптимально рекомендуемых АОТ ВТИ концентрациях) приводило к снижению в 2-3 раза износа тел трения (шайбы и шарика), увеличению в 1,5-2 раза несущей способности (контактного давления зоны трения) смазочной системы и уменьшению в 1,5 раза тепловыделения в режиме установившегося трения.

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение системы ТС НИОД+смазка в подшипниках качения, работающих при $Q_{max} < 1600$ МПа увеличит ресурс их работы в 2-4 раза и обеспечит надежность их эксплуатации в экстремальных условиях.

2. Применение ТС НИОД в подшипниках качения, работающих в условиях $Q_{max} > 1600$ МПа, может быть рекомендовано после проведения их стендовых или натурных испытаний.

Закключение АОТ ВТИ по результатам исследований трибологических свойств смазочных систем НИОД+смазка передано АО НПП «Радий» в соответствии с договором № 806 от 01.08.01 г. и является его интеллектуальной собственностью.

Ведущий научный сотрудник АОТ ВТИ, к.т.н. А.Н. Михайлова

ВЫВОДЫ:

Триботехнический состав НИОД оказывает упрочняющее воздействие на приповерхностные слои пар трения из конструкционных сталей и сплавов, качественно улучшает триботехнические характеристики узлов, механизмов и агрегатов, значительно сокращает время приработки механизмов, их абразивный износ и улучшает эксплуатационные характеристики.

Данный метод возможно применять как для приработки новых механизмов, так и для улучшения рабочих характеристик среднее изношенных пар трения, и как следствие, продление срока службы узлов, механизмов и агрегатов. Бесспорна экономическая эффективность применения ТС НИОД.



ВНИИ «ТРАНСМАШ»

Испытывалось опытное масло (опытный вариант – смазочная композиция «М-14-Г2(к) + ТС НИОД», представляющая собой моторное масло М-14-Г2(к), залитое в смазочную систему стенда ОД-9 после обработки дизеля составом НИОД-5 (изготовлен ООО НПИФ «Энион-Балтика» в соответствии с требованиями ТУ 0254-002-23124986-2001, партия № 74, паспорт № 3 от 21.01.03) в соответствии с Дополнением к «Межведомственному методу оценки моющих и противоизносных свойств масел для быстроходных форсированных транспортных дизелей», приведенном в приложении к Акту) в сравнении с эталоном – маслом М-14-Г2(к).

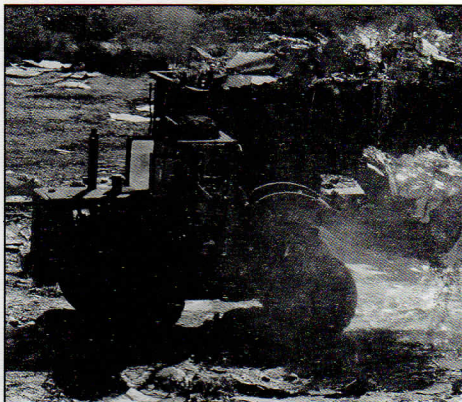
Осмотр деталей двигателя после испытаний показал, что шейки коленчатого вала, коренные и шатунные вкладыши, гильза цилиндра и поршень не имели рисок, натиров, задиров и коррозионных поражений.

Результаты испытаний при введении добавки ТС НИОД-5 в смазочную систему двигателя при работе на штатном масле М-14-Г2(к) показали, что:

– моющие свойства опытного и эталонного масел находятся на одном уровне (разница в оценке состояния поршневой составила 14,5 %), т.е. обработка двигателя составом ТС НИОД не оказывает влияния на моющие свойства масла, т.к. по п. 5.6 «Межведомственного метода оценки моющих и противоизносных свойств моторных масел для быстроходных форсированных транспортных дизелей» опытное и эталонное масла считаются равноценными, если величина оценочных показателей обоих масел не различается более, чем на 20 % (показатели эталона принимаются за 100 %);

– противоизносные свойства масла М-14-Г2(к) существенно улучшились: усредненный износ гильзы цилиндра при работе с опытным маслом на 33% (в 1,5 раз) меньше, чем с эталонным; износ комплекта поршневых колец после работы с опытным маслом на 12 % меньше, чем после работы с эталонным, при этом все компрессионные кольца сохранили хромовое покрытие и свою геометрию;

– физико-химический анализ масел показал, что при проведении испытаний на опытном масле изменение таких показателей как кинематическая вязкость, щелочное число и механические примеси происходит менее интенсивно, чем при аналогичных испытаниях на эталонном масле, что говорит о более мягком режиме работы опытного масла.



Динамика накопления железа в опытном и эталонном маслах представлена в таблице 11.

Из данных таблицы 11 следует, что накопление железа в масле при работе на смазочной композиции происходит значительно менее интенсивно, чем в эталоне (соответственно: 15,0 и 36,0 г/т).

Испытания моторного масла М-8-В

Испытывалось опытное масло (опытный вариант - смазочная композиция «М-8-В + ТС НИОД», представляющая собой моторное масло М-8-В, залитое в смазочную систему стенда ОД-9 после обработки дизеля составом НИОД-5 в соответствии с Дополнением к «Межведомственному методу оценки моющих и противоизносных свойств масел для быстроходных форсированных транспортных дизелей», приведенном в приложении к Акту) в сравнении с эталоном - маслом М-8-В.

Осмотр деталей двигателя после испытаний показал, что шейки коленчатого вала, коренные и шатунные вкладыши, гильза цилиндра и поршень не имели рисков, натиров, задиров и коррозионных поражений.

Результаты испытаний при введении добавки «ТС НИОД-5» в смазочную систему двигателя при работе на масле М-8-В показали, что введение этой добавки:

- не влияет на моющие свойства масла;
- положительно влияет на противоизносные свойства масла М-8-В: усредненный износ гильзы цилиндра при работе с опытным маслом на 58 % (в 2,36 раз) меньше, чем с эталонным; износ комплекта поршневых колец после работы с опытным маслом на 12 % меньше, чем после работы с эталоном, при этом все компрессионные кольца сохра-

нили хромовое покрытие и свою геометрию.

- физико-химические исследования масел показали, что при проведении испытаний опытное масло М-8-В имеет повышенные значения по сравнению с эталонным содержания механических примесей (примерно в два раза) и кинематической вязкости (9,88 против 8,99 мм²/с); остальные показатели изменяются примерно в одинаковых пределах.

Динамика накопления железа в опытном и эталонном маслах представлена в таблице 12.

Из данных таблицы 12 следует, что накопление железа в масле при работе на смазочной композиции происходит значительно менее интенсивно, чем в эталоне (соответственно: 34,0 и 59,0 г/т).

Испытания трансмиссионного масла на стендах СИШ и МКД

Целью данных испытаний являлась проверка возможности применения смазочной композиции «трансмиссионное масло ТСЗп-8 + ТС НИОД» в трансмиссиях ВГМ для повышения эффективности их эксплуатации, проведенная на основании сравнительной оценки противоизносных свойств данной смазочной композиции и штатного масла ТСЗп-8 в условиях зубчатого зацепления.

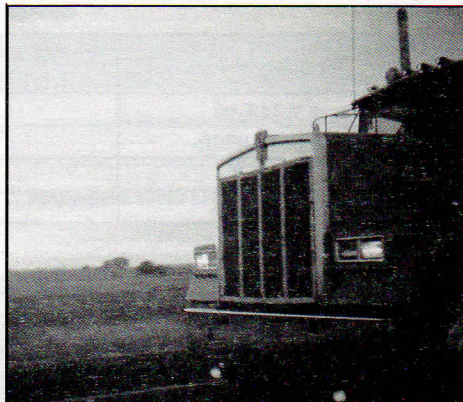
Испытания на стенде СИШ

Сравнительные испытания масел на стенде испытаний шестерен (СИШ) проводились по «Методу оценки противоизносных свойств масел в условиях зубчатого зацепления на моделирующем стенде испытания шестерен (СИШ)»

Опытный вариант - смазочная композиция «масло ТСЗп-8+ТС НИОД», представляющая собой трансмиссионное масло ТСЗп-8, залитое в смазочную систему стенда СИШ после обработки шестерен составом НИОД.

При испытаниях в обычном режиме установлено, что опытная смазочная композиция «масло ТСЗп-8+ТС НИОД-2» по противоизносным свойствам значительно превосходит эталон (средний интегральный износ за 100 ч испытаний составил 60 мкм на опытном масле против 280 мкм на эталоне).

Физико-химические показатели как опытного, так и эталонного масел в основном изменяются незначительно и находятся в обычных при испытании штатного масла ТСЗп-8 пределах. Массовая доля железа после 100 ч испытаний в опытном масле в 2,25 раза ниже, чем в эталонном.



Испытания на стенде СИШ в режиме «сухого трения»

Испытания в режиме «сухого трения» проводились на стенде СИШ. Основные параметры режима испытаний (контактное давление в полюсе зацепления шестерен и частота вращения приводного электродвигателя) соответствовали методу оценки противоизносных свойств масел в условиях зубчатого зацепления на моделирующем стенде СИШ. Перед началом испытаний шестерни, работавшие на эталонном масле, были установлены неизношенными профилями друг к другу путем их поворота на 180°, чтобы достигнуть максимальной идентичности испытаний. После запуска редуктора со штатным маслом и подогрева масла до 50 °С оно было слито.

В процессе испытаний фиксировалась температура в редукторе. За 150 мин. испытаний температура поднялась до 200 °С, и испытания были прекращены во избежание выхода стенда из строя.

В той же последовательности проводились испытания в режиме «сухого трения» редуктора с опытной композицией «ТСЗп-8 + ТС НИОД-2». В течение 150 мин. испытаний температура в редукторе не поднималась и находилась в диапазоне 40 - 60 °С.

Полученные результаты показали, что при испытаниях в режиме «сухого трения» интегральный износ шестерен за 150 мин. испытаний составил 375 мкм у шестерни, работавшей ранее на эталонном масле ТСЗп-8, и 90 мкм - на опытном масле ТСЗп-8 (после обработки шестерен ТС НИОД-2).

Таблица 11. Накопление железа в опытном и эталонном маслах

Продолжительность испытаний на ОД-9, ч	Содержание железа, % масс.	
	опытное масло «М-14-Г ₂ (к) + ТС НИОД»	эталон М-14-Г ₂ (к)
0	Отсутствие	Следы
12	Следы	0,00100
72	0,00090	0,00220
120	0,00150	0,00360

Таблица 12. Накопление железа в опытном и эталонном маслах

Продолжительность испытаний на ОД-9, ч	Содержание железа, % масс.	
	опытное масло «М-8-В + ТС НИОД»	эталон М-8-В
0	Отсутствие	Отсутствие
12	0,00120	0,00190
72	0,00270	0,00440
120	0,00340	0,00590

Таблица 13. Противоизносные свойства испытанных моторных масел

Марка масла	Усредненный износ гильзы цилиндра, мкм	Максимальный износ гильзы цилиндра, мкм	Износ комплекта поршневых колец, г
Эталон М-14-Г ₂ (к)	5,8	12,3	0,58
«М-14-Г ₂ (к) + ТС НИОД»	3,9	11,8	0,51
Эталон М-8-В	6,6	12,5	0,60
«М-8-В + ТС НИОД»	2,8	9,8	0,53

Таблица 14. Изменение физико-химических показателей моторных масел

Наименование масла	Изменение показателя, % отн.				Содержание, % масс.	
	вязкость кинематическая при 100 °С	зольность сульфатная	кислотное число	щелочное число	механических примесей	железа
Эталон М-14-Г ₂ (к)	+ 22	+ 13	+ 51	- 40	1,11	0,0036
«М-14-Г ₂ (к) + ТС НИОД»	+ 10	+ 6	+ 34	- 28	0,55	0,0015
Эталон М-8-В	+ 12	+ 28	- 9	- 12	0,52	0,0059
«М-8-В + ТС НИОД»	+ 23	+ 10	- 18	- 18	1,10	0,0034

Испытания на стенде МКД

Цель испытаний - проверка возможности применения смазочной композиции трансмиссионное масло ТСЗп-8+ТС НИОД в трансмиссиях ВГМ для повышения эффективности их эксплуатации, проведенная на основании сравнительной оценки противоизносных свойств данной смазочной композиции и штатного масла ТСЗп-8 на металлокерамических дисках трения.

Испытания масел на стенде металлокерамических дисков (МКД) проводились по «Методу оценки противоизносных свойств трансмиссионных масел в дисках трения».

Испытания проводились в три этапа:

- на первом этапе испытывался пакет дисков трения с использованием эталонного масла ТСЗп-8;

- на втором этапе производилась обработка дисков трения составом ТС НИОД-2 (из расчета 30 г ТС НИОД-2 на 1 л залитого масла) согласно Дополнению к Методу испытаний (в объеме 100 циклов торможения);

- на третьем этапе испытывались обработанные ТС НИОД-2 диски трения с использованием вновь залитого масла ТСЗп-8.

Результаты испытаний серийных металлокерамических дисков трения на стенде МКД показали, что обработка их триботехническим составом НИОД позволяет:

- повысить износостойкость дисков трения на 31,6 %;

- сохранить коэффициент трения на уровне, характерном для штатного масла ТСЗп-8

- констатировать практически несущественное влияние ТС НИОД на физико-химические показатели масла; содержание железа при этом после 400 торможений в опытном масле в 2,16 раз ниже, чем в эталонном.

Выводы

Испытания моторных масел

Проведенные лабораторно-стендовые испытания смазочных композиций «М-14-Г₂(к) + ТС НИОД» и «М-8-В + ТС НИОД» в сравнении с эталонными маслами позволяют сделать следующие выводы.

По уровню моющих свойств - наличие введенной добавки ТС НИОД практически не изменяет моющие свойства моторных масел.

По уровню противоизносных свойств испытанные моторные масла показали результаты, представленные в таблице 13.

В соответствии с Межведомственным методом оценки моющих и противоизносных свойств моторных масел исследуемое и эталонное масла считаются равноценными, если величина оценочных показателей не различается более, чем на 20 % (показатели эталона принимаются за 100 %).

Следовательно:

- противоизносные свойства опытного масла «М-14-Г₂(к) + ТС НИОД» выше, чем этого же масла без добавки (различие показателей по столбцам 1, 2, 3 таблицы 5 соответственно составляет: 33; 4 и 12 %);

- противоизносные свойства опытного масла «М-8-В + ТС НИОД» выше, чем этого же масла без добавки (различие показателей по столбцам 1, 2, 3 таблицы 5 соответственно составляет: 58; 22 и 12 %);

Физико-химические исследования масел подтверждают данные моторных испытаний. Изменение значений основных физико-химических показателей моторных масел за период испытаний на стенде ОД-9 (в % отн.) представлено в таблице 14.

Из данных таблицы 14 следует, что физико-химические показатели масел с введенной добавкой ТС НИОД в процессе 120 ч испытаний на стенде ОД-9 изменяются в обычных пределах, характерных для этих масел в течение установленной наработки.

Испытания трансмиссионного масла

Проведенные испытания на стендах СИШ и МКД, а также испытания на стенде СИШ в режиме «сухого трения» смазочной композиции «ТСЗп-8 + ТС НИОД» в сравнении с

эталонным маслом позволяют сделать вывод, что обработка триботехническим составом НИОД:

- значительно повышает противоизносные свойства масла (средний интегральный износ за 100 ч испытаний составил 60 мкм на опытном масле против 280 мкм на эталоне);

- при испытаниях в режиме «сухого трения» интегральный износ шестерен за 150 мин. испытаний составил 375 мкм у шестерни, работавшей ранее на эталонном масле ТСЗп-8, и 90 мкм - на опытном масле ТСЗп-8 (после обработки шестерен ТС НИОД);

- повышает износостойкость дисков трения на 31,6 %;

- сохраняет коэффициент трения на уровне, характерном для штатного масла ТСЗп-8 (0,055-0,066);

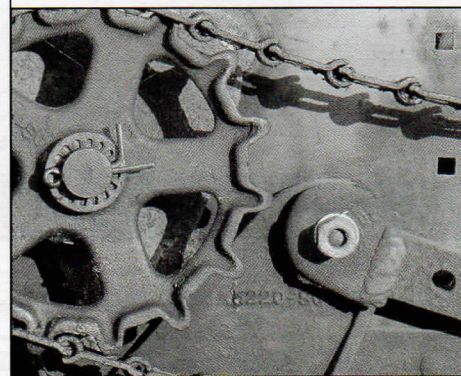
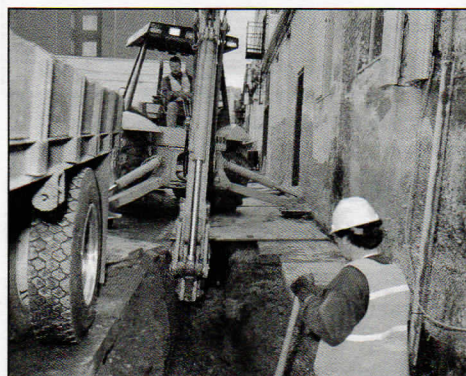
- несущественно влияет на физико-химические показатели масла;

- содержание железа после 100 ч испытаний на СИШ в опытном масле в 2,25 раза ниже, чем в эталонном, а после 400 торможений на стенде МКД - в опытном масле в 2,16 раз ниже, чем в эталонном.

Заключение

Проведенная работа и полученные при этом положительные результаты позволяют подтвердить целесообразность введения добавки ТС НИОД в смазочные материалы для ВВТ с целью повышения надежности и эффективности работы этой техники.

Для выдачи окончательного заключения следует рекомендовать рассмотренные смазочные композиции с ТС НИОД к испытаниям, предусмотренным на этапе 3 данной НИР.



АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НИРВ СООТВЕТСТВИИ С ГОСУДАРСТВЕННЫМ ОБОРОННЫМ ЗАКАЗОМ (ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ №75-4 ОТ 01.02.2001Г.

Цель работы: определение возможности применения триботехнических составов для увеличения срока бесменной работы смазочных материалов при обеспечении повышенной надежности ВВТ.

Этап 1:

- Проведен анализ и систематизация основных веществ и химических соединений, применяемых в качестве антифрикционных и противоизносных присадок (добавок)
- Обоснована приоритетность ТС НИОД по отношению к другим составам аналогичного назначения
- Проверена патентная чистота ТС НИОД
- Проанализированы предоставленные разработчиками результаты лабораторных исследований и практического применения ТС НИОД
- Принято решение о проведении лабораторных испытаний

Лабораторные испытания:

Лабораторные испытания проведены на машине трения ВТИ (пара трения–неподвижный шарик по вращающейся плоскости шайбы). Исследованы трибологические свойства ТС НИОД при различных нагрузках, с использованием в качестве носителя масла ТП-22С, ТАД-17, смазок Литол-24, ЦИАТИМ-201, ВНИИ НП-501. Определены оптимальные концентрации ТС НИОД для различных смазок.

По результатам испытаний на машине трения ВТИ сделаны следующие выводы:

«... добавление ТС НИОД в смазки в количествах 1% для пластических смазок и 3% для жидких смазок благоприятно влияет на их трибологические свойства. Тепловыделение снижается как на стадии приработки, так и в целом за время проведения испытаний в 1.5 раза в пластических смазках, в жидких смазках в 3-10 раз, уменьшается весовой износ элементов пары трения в 1.5-2 раза при резком повышении несущей способности применяемых смазок в 2-3 раза»

Общие выводы по результатам первого этапа:

«Исходя из полученных в рамках проведения НИР результатов лабораторных и натурных испытаний ТС НИОД в различных смазочных материалах можно сделать вывод о значительном положительном эффекте от его применения в узлах трения, работающих при различных термомеханических нагрузках. Обработка ТС НИОД способствует уменьшению периода приработки_трущихся деталей в среднем в 1.5-2 раза, уменьшению температуры образцов на 5-25°C и момента трения на 5-15%. Практически у всех испытанных материалов пары трения снижается скорость изнашивания (в 1.7-3.4 раза). При применении ТС НИОД в ДВС наблюдается значительное повышение компрессии и ее выравнивание по цилиндрам двигателя, снижение дымности, расхода масла на угар и топлива, увеличение мощности и ресурса двигателей.

Исходя из этого ТС НИОД могут быть рекомендованы для применения в узлах трения различного оборудования, в том числе для улучшения качества приработки и сокращения периода обкатки ДВС, коробок передач, раздаточных коробок и мостов военной техники после ремонта, восстановления мощности и ресурса изношенных двигателей с целью повышения боеготовности ВВТ, связанного с сокращением времени до принятия нагрузки и повышения ее живучести, обеспечиваемого возможностью эксплуатации техники в экстремальных условиях без смазочного материала («насухую»).

Закключение по этапу 1:

«... Полученные положительные результаты испытаний смазочных композиций, содержащих ТС НИОД, позволяют рекомендовать его к дальнейшим углубленным лабораторно-стендовым испытаниям...»

Этап 2:

На этапе 2 проведены углубленные лабораторно-стендовые и натурные испытания ТС НИОД в:

- ВНИИ транспортного машиностроения (стенды ОД-9, СИШ, МКД)
- НИИ 21 МО РФ (трансмиссии (2шт.) и двигатели (4шт.) автомобилей)
- 25 ГосНИИ МО РФ (машины трения ЧШМ и SRV, стендовый дизель Д-245)
- ОО «ХИММОТОЛОГИЯ» (машина трения МИ, атомно-эмиссионный спектрометр «Спектройл М», феррографическая система «ПРЕДИКТ»)

1. ВНИИ транспортного машиностроения

- Стенд ОД-9
- Снизилась интенсивность изнашивания гильзы цилиндра на 33% на масле М-14-Г₂(К) и на 58% на масле М-8-В
- Снизилась интенсивность изнашивания поршневых колец на 12% в обоих случаях
- Снизилась интенсивность накопления продуктов износа в масле в 2.4раза на масле М-14-Г₂(К) и в 1.6раза на масле М-8-В

– Стенд СИШ

- Снизилась интенсивность износа шестерен в 4.7раза
- При испытаниях «насухую» базовая пара была остановлена через 150мин из-за перегрева (200°C), температура опытной пары за то же время составила 40-60°C, интенсивность износа снизилась в 4.2раза
- Стенд МКД
- установлено снижение изнашивания дисков на 31.6% при неизменном коэффициенте трения.

2. НИИ 21 МО РФ

Выводы: Испытания ТС НИОД-5 в двигателях показало изменение компрессии в цилиндрах (увеличение не 5-8%)...

3. Испытания ТС НИОД-2 в агрегатах трансмиссии показали некоторое снижение потерь энергии в трансмиссии (до 3%), что обеспечило экономию топлива не более 2%

Относительно невысокая эффективность ТС в данных случаях объясняется изначально высокими характеристиками узлов (пробег автомобилей составлял от 5 до 38 тыс.

км) и недостаточным пробегом автомобилей (350км) перед повторными замерами.

4. 25 ГосНИИ МО РФ

- Испытания на ЧШМ
- Установлено повышение на 12-13% критической нагрузки, на 5.5-6% нагрузкой сваривания и от 12.5% до 21% (на масле М-8Г₂К) индекса задира
- Испытания на SRV

Выводы: Результаты испытаний показали, что при добавлении в масла ТС НИОД их антифрикционные свойства улучшаются, «...предполагаемая экономия топлива ... может составить величину до 2.3%

– Испытания на Д-245

- Установлено снижение интенсивности износа цилиндро-поршневой группы на 8% и расхода топлива на 2.2%

Закключение:

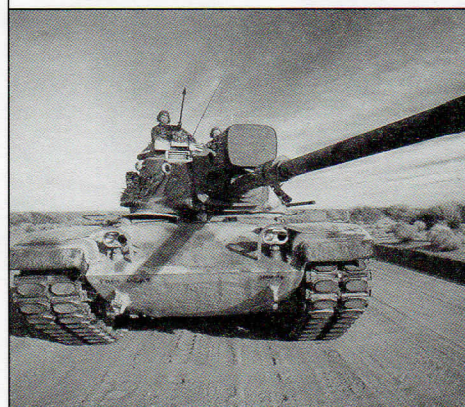
«Испытания показали, что добавление ТС НИОД в моторные и трансмиссионные масла и обработка узлов трения полученными композициями приводит к снижению трения и интенсивности износа в них, что способствует уменьшению потерь энергии на трение и увеличению ресурса работы узлов трения.

Применение ТС НИОД в моторных и трансмиссионных маслах может быть рекомендовано для повышения надежности техники, увеличения ее ресурса и повышения экономии топлива при применении.»

Примечание. Относительно невысокая эффективность ТС в данных случаях объясняется тем, что методики испытаний на машинах трения ориентированы на оценку свойств смазок и не позволяют достичь максимального проявления свойств ТС. При испытаниях Д-245 двигатель находится изначально в идеальном состоянии и эффект от применения ТС НИОД может заключаться в увеличении в 2-3 раза ресурса, что можно выявить только в процессе продолжительных ресурсных испытаний.

5. ОО «ХИММОТОЛОГИЯ»

В процессе испытаний на машине трения МИ (пар трения ролик-колодка) (стенд ИМаш РАН) установлено снижение интенсивности износа от 2 раз непосредственно после начала испытаний до 37 раз в конце испытания. Момент сил трения снизился в 3раза, процесс тепловыделения в паре трения снизился в 4 раза.





САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, КАФЕДРА «ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ»

Целью проведения настоящей работы является экспериментальное исследование влияния триботехнического состава НИОД на основные показатели работы бензинового карбюраторного двигателя – эффективную мощность, расход топлива, скорость износа а также показатели токсичности отработавших газов.

Работа проводилась в рамках независимой экспертизы присадок к смазочным маслам, проводимой Отделом экспертиз журнала «5 Колесо».

Программа испытаний

Согласно Методике ускоренных трибологических стендовых испытаний, принятой в качестве основы для проведения независимой экспертизы, программа проведения испытаний включала в себя:

Этап 1. Предварительная обкатка и регулировка собранного двигателя.

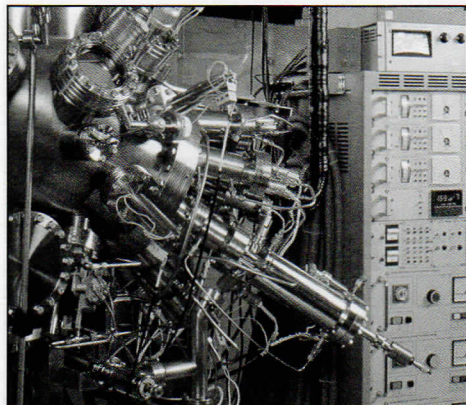
В состав работ на данном этапе входят: обкатка, проводимая в течение 15 моточасов, до стабилизации параметров по программе обкатки, рекомендованной Заводом-изготовителем;

- замер компрессии по цилиндрам.

Этап 2. Снятие базовых характеристик двигателя при работе на штатном масле.

В состав работ на данном этапе входят:

- стендовые испытания двигателя в течение 25 моточасов.
- через каждые пять циклов – цикл испытаний по программе «Холодный пуск» с прокруткой двигателя с отключенным зажиганием и подачей топлива на пусковой частоте



вращения коленчатого вала в течение 20 мин (аналог 60 пусков);

- по окончании цикла испытаний производится снятие характеристик двигателя: внешней скоростной и нагрузочных при $n=1500, 2500, 3500$ об/мин с замером основных показателей работы двигателя;
- через каждые 8 часов – отбор проб масла для спектрального и химического анализа;
- замер компрессии по цилиндрам;
- замер расхода масла методом «на слив».

Этап 3. Обработка двигателя триботехническим составом «НИОД-5» по технологиям фирмы-производителя НПФ «Энион-Балтика» и снятие характеристик двигателя при работе на чистом масле.

В состав работ на данном этапе входят:

- обработка двигателя составом согласно рекомендациям фирмы-производителя;
- стендовые испытания двигателя в течение 25 моточасов.
- через каждые пять циклов – цикл испытаний по программе «Холодный пуск» с прокруткой двигателя с отключенным зажиганием и подачей топлива на пусковой частоте вращения коленчатого вала в течение 20 мин (аналог 60 пусков);
- по окончании цикла испытаний производится снятие характеристик двигателя: внешней скоростной и нагрузочных при $n=1200, 1500, 2000, 3500$ об/мин с замером основных показателей работы двигателя;
- через каждые 8 часов – отбор проб масла для спектрального и химического анализа;
- замер компрессии по цилиндрам;
- замер расхода масла методом «на слив».

Этап 4. Анализ результатов проведения испытаний, подготовка отчета.

Оценка эффективности составов производится по следующим параметрам:

- изменению величины и степени равномерности компрессии по цилиндрам;
- величине максимальной мощности и максимального крутящего момента в абсолютной величине и в процентном выражении;
- оценочной величине скорости износа основных сопряжений трения, определяемой на основе данных спектрального анализа масла, замеров микропрофилей поверхностей деталей;
- величинам расхода топлива на режимах холостого хода, удельному минимальному расходу топлива, удельному расходу топли-

ва на номинальном режиме в абсолютном и процентном выражении в приведенных атмосферных условиях;

- изменению токсичности отработавших газов по компонентам СО и СН до и после обработки двигателя;
- по изменению величины эффективного к.п.д. двигателя до и после обработки.

В процессе проведения испытаний производятся замеры параметров двигателя с обеспечением следующей погрешности замеров величин:

Оценка скоростей износа производится путем:

- спектрального анализа масла;
- обмером деталей до и после испытаний.

Оценка пределов работоспособности двигателя при работе двигателя в аварийных условиях проводилась по следующей программе:

- Сборка двигателя с заменой распределительного вала, вкладышей подшипников и коленчатого вала;
- Установка двигателя на стенд, соединение с нагрузочным устройством, монтаж комплекса измерительной аппаратуры.

Результаты испытаний

Ниже приведены результаты, полученные в ходе контрольных замеров параметров двигателя.

Здесь и далее в таблицах использованы следующие обозначения:

- n – частота вращения коленчатого вала двигателя;
- M_e – эффективный крутящий момент;
- N_e – эффективная мощность;
- G_t – часовой расход топлива;
- g_e – удельный расход топлива;
- η_e – эффективный к.п.д.;
- СО – содержание окиси углерода в отработавших газах двигателя;
- СН – содержание остаточных углеводородов в отработавших газах двигателя

Результаты испытаний двигателя в аварийной ситуации, связанной с попаданием тосола в систему смазывания двигателя

Далее из двигателя было слито масло и залито 3 литра тосола. При этом оценочный остаток масла в скрытых полостях двигателя и масляном фильтре составил порядка 1л. Таким образом, двигатель работал на эмульсии «масло-тосол» с преимущественным содержанием тосола. Во избежание засорения карбюратора связь «вентиляция картера-воздушный фильтр» была разорвана.

Далее двигатель работал на режимах холостого хода со ступенчатым повышением частоты вращения коленчатого вала в диапазоне 800 ...2500 об/мин с выдержкой на каждом режиме в течение 60 мин.

Двигатель сохранял работоспособность на всех режимах вплоть до момента останова. После часового перерыва в испытаниях была предпринята попытка запуска двигателя от стартера. Двигатель удалось завести и обеспечить устойчивую работу только после его пусковой раскрутки до частоты вращения порядка 3400 об/мин, сразу

Табл. 15. Данные замера компрессии по цилиндрам.

Этап испытаний	1-й цилиндр	2-й цилиндр	3-й цилиндр	4-й цилиндр
По окончании приработки	9,1	12,0	12,2	12,2
Перед обработкой составом	8,9	11,8	12,0	12,1
После обработки составом	9,5	12,2	12,1	12,2
По окончании первой стадии испытаний	9,6	12,5	12,6	12,9
После переборки и замены вкладышей	11,9	12,1	12,1	12,6
После второй переборки	12,0	12,6	12,7	12,6

после чего появились стуки, характеризующие разрушение подшипников коленчатого вала. С подобным дефектом двигатель отработал 40 мин на режиме 3000 об/мин. После резкого нарастания интенсивности стука было принято решение прекратить эту стадию испытаний.

Разборка двигателя и его дефектация выявила разрушение антифрикционного слоя на первом шатунном, первом и третьем коренных подшипниках. Остальные вкладыши недопустимых дефектов не имели, хотя на их поверхности было отмечено наличие глубоких продольных рисок, очевидно, появившихся на стадии «холодной» обработки двигателя триботехническим составом НИОД. Рабочие поверхности цилиндров и поршневых колец находились в приемлемом состоянии и видимых дефектов не имели.

При разборке двигателя из поддона было слито порядка одного литра загущенной жидкости – смеси продуктов разложения этиленгликоля и смазочного масла с вязкостью ориентировочно более 100 сСт. Очевидно, что подобная смесь не могла обеспечивать смазывание узлов трения двигателя, поэтому можно утверждать, что окончание испытаний по сути моделировало серию «сухих испытаний» с полным отсутствием масла в системе смазывания двигателя.

Таким образом, частично была подтверждена работоспособность двигателя, обработанного триботехническим составом НИОД, в случае аварийных ситуаций, связанных с попаданием в масло тосола (работы на эмульсии тосол-масло) и полной потерей масла.

После дефектации двигателя, по согласованию с Заказчиком, была произведена сборка двигателя с новым комплектом вкладышей и с заменой распределительного вала. При этом была произведена «холодная» обработка двигателя путем нанесения консистентной смазки, содержащей триботехнический состав НИОД, на рабочие поверхности подшипников. После обкатки двигателя в течение 5 часов, была произведена «горячая обработка» путем ввода состава НИОД в моторное масло.

Далее, после пяти часов эксплуатации двигателя на различных режимах, были сняты контрольные характеристики.

В процессе проведения испытаний через определенное количество моточасов снимались контрольные параметры двигателя – мощность, расход топлива и показатели токсичности ОГ.

Замеры компрессии в цилиндрах двигателя проводились следующих этапах испытаний:

- после цикла обкатки – через 16 моточасов после начала цикла испытаний;
- после снятия базовых характеристик;
- после обработки двигателя ТС НИОД;
- по окончании первой серии испытаний;
- перед испытаниями на тосоле;
- перед сухими испытаниями.

Замеры производились при фиксированной частоте вращения коленчатого вала 250 об/мин, задаваемой двигателем стенда. Показания компрессометра усреднялись по трем замерам для каждого цилиндра. Замеры производились при полностью закрытой дроссельной заслонке.

Данные замеров сведены в табл. 15.

Анализ динамики процесса приработки двигателя с составом НИОД

Анализ динамики изменения параметров двигателя в процессе приработки дает позволяет сделать предварительные выводы по составу и технологии применения состава.

Динамика изменения параметров двигателя бралась на трех режимах внешней скоростной характеристике и частичных характеристиках:

- малых частот вращения к.в. – 1500 об/мин;

- в зоне максимального крутящего момента – 3500 об/мин

- в зоне номинальной мощности – 5600 об/мин.

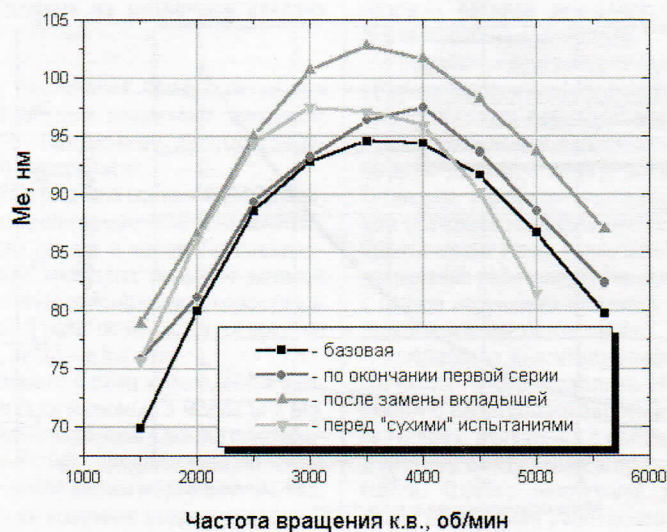
В связи с тем, что на начальном этапе приработки было отмечено существенное падение параметров двигателя, свидетельствующее о продолжении процесса модификации поверхностных слоев, первые 8 часов работы не допускалась работа на номинальных режимах.

Анализ полученных данных свидетельствует о наличии нескольких периодов приработки двигателя под воздействием состава НИОД.

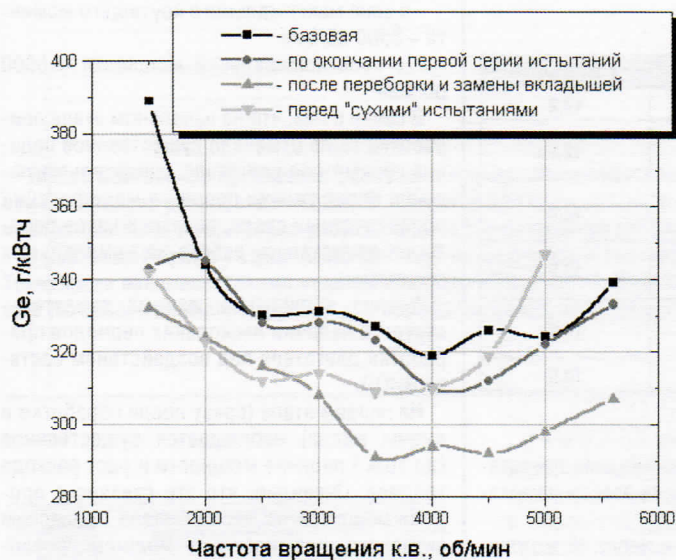
На первом этапе (сразу после обработки и смены масла) наблюдается существенное (до 10%) падение мощности и рост расхода топлива. Очевидно, что это связано с продолжающимся на первом этапе процессом активного формирования модифицированного слоя, происходящего с использованием процессов микрошлифовки поверхностей. Это дает существенное увеличение механических потерь в двигателе и, соответственно, ухудшение его параметров.

По мере формирования модифицированного слоя механические потери уменьшаются, и на втором этапе (продолжительность – 15..17 моточасов ускоренного цикла испытаний после обработки) наблюдается устойчивый рост мощности и снижение удельного расхода топлива. При этом параметры обработанного двигателя существенно превышают базовые характеристики. Так, при испытаниях в конце второго этапа приработки наблюдалось повышение крутящего момента на режиме 1500 об/мин – на 7%, на 3500 об/мин – на 3%. При этом удельный расход топлива снизился в диапазоне режимов, характерных для городского цикла на 12-17%. На этих же режимах наблюдалось существенное снижение выхода CO.

На третьем этапе наблюдалась стабилизация эффекта и некоторое его снижение. Возможно, это было связано со срабатыванием модифицированного слоя. Начало ухудшения характеристик на режимах городского цикла (диапазон частот вращения



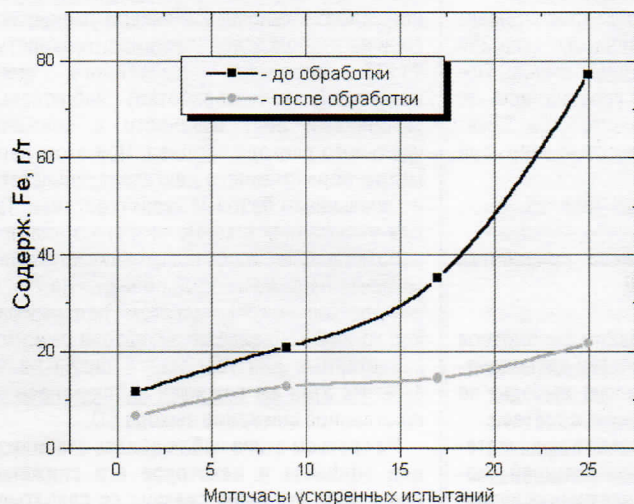
Изменение кривой крутящего момента при работе двигателя по ВСХ на различных стадиях испытаний



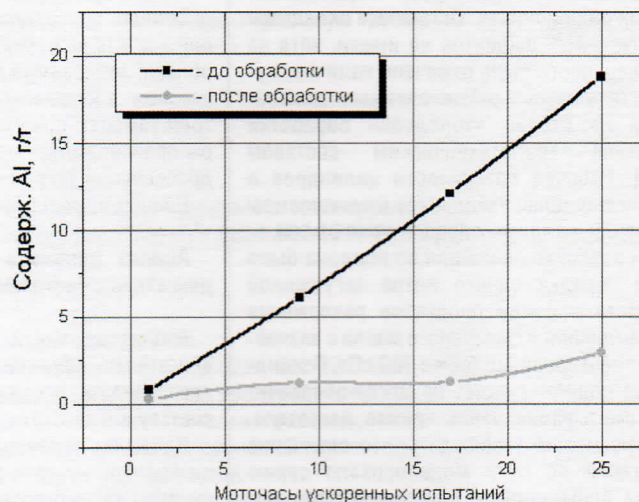
Изменение кривой удельного расхода топлива при работе двигателя по ВСХ на различных стадиях испытаний



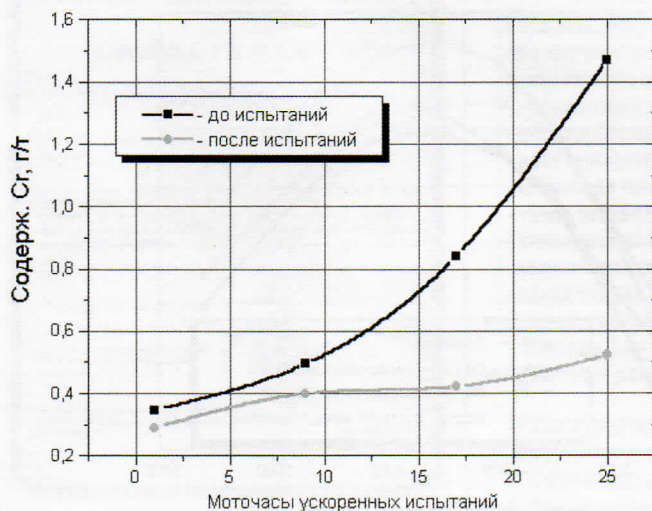
Изменение кривой содержания CO при работе двигателя по ВСХ на различных стадиях испытаний



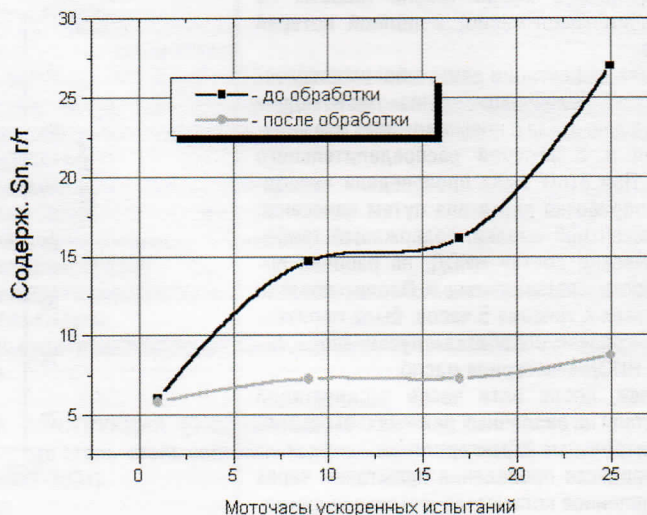
Содержание Fe в пробах масла, отобранных до и после обработки двигателя ВАЗ-2108 составом НИОД



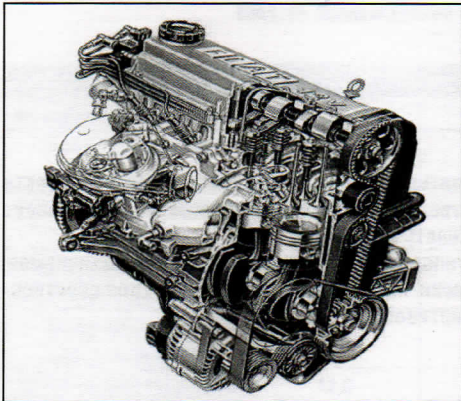
Содержание Al в пробах масла, отобранных до и после обработки двигателя ВАЗ-2108 составом НИОД



Содержание Cr в пробах масла, отобранных до и после обработки двигателя ВАЗ-2108 составом НИОД



Содержание Sn в пробах масла, отобранных до и после обработки двигателя ВАЗ-2108 составом НИОД



1500-3500 об/мин) наблюдался начиная с 20-го часа ускоренных испытаний, что соответствует пробегу 35...40 тыс. км для среднестатистического автомобиля, эксплуатирующегося в городских условиях.

Следует отметить, что на режимах, близких к номинальным, достичь начала третьего этапа не удалось – на всем протяжении испытаний наблюдалось устойчивое повышение параметров, однако темп улучшения характеристик двигателя был существенно меньшим.

Возможно, причиной этого являлось разрушение вкладыша 3-ей коренной опоры, обнаруженное при вскрытии двигателя. Начало разрушения вкладыша, как показали результаты спектрального анализа проб масла, произошло до обработки двигателя составом НИОД, при снятии базовых характеристик с выходом на номинальный режим работы. Процесс обработки поврежденного вкладыша составом НИОД ускорил процесс его разрушения.

Причиной разрушения вкладыша, по нашим предположениям, являлась высокая степень износа двигателя (2-ой капитальный ремонт), а также дефект самой детали.

Повреждение узла трения не позволило достичь максимального результата обработки и несколько исказило общую картину динамики работы состава.

Следует отметить, что обработка двигателя составом НИОД позволила сохранить работоспособность двигателя с тяжелым дефектом узла трения на всех режимах, вплоть до номинального. Очевидно, это свидетельствует о существенном снижении коэффициентов трения в трибологических узлах двигателя, допускающих сохранение работоспособности деталей даже в случае нарушения штатного гидродинамического режима смазывания.

Анализ данных по динамике изменения параметров двигателя на частичных режимах показывают наличие тех же тенденций и временных интервалов, которые были отмечены при снятии контрольных параметров на режимах внешней скоростной характеристики. Это говорит о том, что причиной достижения эффекта является снижение механических потерь в двигателе, которые зависят в основном от частоты вращения коленчатого вала и мало зависят от нагрузки на двигатель.

Существенного влияния обработки двигателя составом НИОД на токсичность отработавших газов отмечено не было. Однако полученные результаты свидетельствуют о

возможности обеднения топливо-воздушной смеси без потери мощности двигателя. Это, безусловно, должно дать существенный эффект снижения выхода CO и CH на всех режимах работы двигателя.

Наибольший эффект в повышении технико-экономических параметров двигателя был получен после переборки двигателя и замены вкладышей на новые. В этом варианте был получен прирост мощности на 10...12%, снижение расхода топлива – на 9...14%. Очевидно, что это является следствием различного результата обработки пар трения, сформированных материалами с различной поверхностной твердостью. Если для пар с одинаковой твердостью происходит активная модификация обеих поверхностей, то для пар с существенно различной твердостью модифицируется только твердая поверхность. Поэтому замена деталей, формирующих «мягкие» рабочие поверхности пар трения (вкладыши), в совокупности с модифицированными «твердыми» поверхностями (шейки вала), обеспечивают максимальный результат.

Снижение характеристик двигателя на последнем этапе испытаний, очевидно, связано с резким ростом зазоров в сопряжениях, полученным при испытаниях на тосоле.

В целом, считаем, что полученного объема информации явно недостаточно для обоснованных выводов о методике применения состава НИОД в целом и позволяют лишь дать предварительную оценку эффекта от его применения. Для разработки методики необходима постановка методически проработанного эксперимента на большом количестве двигателей различного рабочего объема и с различной степенью износа с накоплением и статистическим анализом результатов.

На рис. приведены зависимости крутящего момента, удельного расхода топлива и содержания CO от частоты вращения коленчатого вала при работе двигателя по внешней скоростной характеристике.

Приведенные на рисунках результаты полностью подтверждают ранее сделанные выводы.

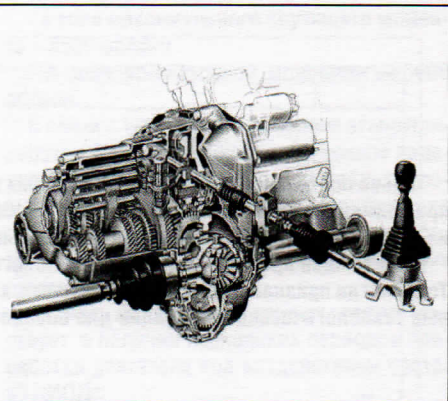
Результаты спектрального анализа проб масла, отобранных на различных стадиях испытаний

Динамика накопления продуктов износа по наиболее важным элементам приведена на рис. 15-18. Полученные данные свидетельствуют о следующем:

- Обработка двигателя составом НИОД приводит к резкому снижению скорости накопления продуктов износа в масле. По содержанию основных металлов базовых деталей двигателя отмечается снижение скорости износа по Fe – в 3.5 раза; по Al – в 3.5...4 раза; по Cr – в 3 раза, по Sn – в 3.2 раза.

- Одновременно с этим наблюдается резкое увеличение содержания в масле Si и Mg, что объясняется наличием в масле фрагментов состава НИОД, продолжающего свою работу даже после смены масла и промывки, проведенной на конечной стадии обработки двигателя.

- Резкое увеличение содержания всех металлов в пробе, отобранной после обработки



двигателя (перед заменой масла), свидетельствует о наличии механизма микрошлифовки рабочих поверхностей трения, осуществляемого составом НИОД.

Выводы по работе

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- В процессе обработки двигателя составом НИОД на промежуточной стадии испытаний было получено значительное повышение мощности и снижение удельного расхода топлива – на режимах малых частот вращения доходящее до 12...17%, на номинальном режиме – до 2...3%. Достигнутый результат говорит о положительном воздействии состава на двигатель, предположительно выявившемся в снижении механических потерь.

- Наилучшие результаты достигаются в случае использования триботехнического состава НИОД в качестве элемента технологии, частично заменяющей капитальный ремонт двигателя – обработку узлов трения с последующей заменой вкладышей подшипников. В этом случае достигается рост мощности двигателя на 4...12%, снижение удельного расхода топлива на 3...14% на различных эксплуатационных режимах работы.

- Анализ данных спектрального анализа проб масла, отобранных на различных стадиях испытаний, свидетельствует о существенном снижении темпа накопления продуктов износа по основным металлам базовых деталей двигателя, наблюдаемом после обработки двигателя.

- Обработка двигателя составом НИОД позволила сохранить работоспособность двигателя с тяжелым дефектом узла трения (разрушением вкладыша коренного подшипника) на всех режимах, вплоть до номинального. Очевидно, это свидетельствует о существенном снижении коэффициентов трения в трибологических узлах двигателя, допускающих сохранение работоспособности деталей даже в случае нарушения штатного гидродинамического режима смазывания.

- Обработка двигателя триботехническим составом НИОД позволила обеспечить частичную работоспособность при аварийных ситуациях, связанных с попаданием тосола в систему смазывания и при полной потере масла. Однако наилучшие результаты в плане повышения работоспособности, очевидно, могут быть достигнуты в случае использования стальных (чугунных?) вкладышей.