

Министерство обороны Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
21 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник ФГУП 21 НИИИ
Минобороны России
канд. экономических наук


В. ШИПИЛОВ
« » 2004 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИСАДОК ДЛЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ПЕРСПЕКТИВНОЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКЕ»
Шифр « Отповедь-3»

Заместитель начальника 21 НИИИ
Минобороны России
по научной работе
канд. технических наук, с.н.с.

«26» 11 2004 г.

 А. Стариков

Начальник 1 научного управления
канд. технических наук, с.н.с.

«26» 11 2004 г.

 В. Корнилов

Начальник отдела

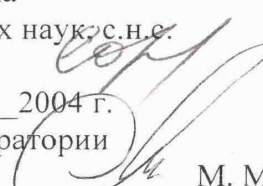
канд. технических наук, с.н.с.

«26» 11 2004 г.

 С. Орехов

Начальник лаборатории

«26» 11 2004 г.

 М. Меньшиков

Бронницы 2004

Список исполнителей

Должность, ученая степень, ученое звание	Инициалы и фамилия	Личная подпись	Степень участия
Начальник отдела, к.т.н., старший научный сотрудник	С.В. Орехов		Организация исследований; редактирование отчета
Начальник лаборатории, научный сотрудник	М.В. Меньшиков		Организация и проведение исследований; разработка и редактирование отчета
Научный сотрудник	Г.В. Стельмах		Проведение исследований; редактирование отчета
Научный сотрудник	В.М. Федотов		Проведение исследований
Научный сотрудник	Д.В. Жигин		Проведение исследований
Младший научный сотрудник	В.В. Кулешов		Проведение исследований; разработка отчета
Лаборант-исследователь	Е.В. Федотова		Проведение исследований, оформление отчета

Реферат

Технический отчет с., 7 рис., 17 табл., 5 источников, 3 прил.

ПТФЭ-ДОБАВКА ФОРУМ-В; СРЕДНИЙ МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОРАЧИВАНИЮ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ В ПЕРИОД ПУСКА; ПУСК ДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА; ШТАТНОЕ МАСЛО; ОПЫТНОЕ МАСЛО

Объектом исследований является противоизносная антифрикционная ПТФЭ-добавка ФОРУМ-В.

Цели работы – определение влияния опытного масла на надежность и эксплуатационные свойства двигателей ВАТ в условиях низких температур окружающего воздуха и оценка динамики изменения эксплуатационных свойств опытного масла в ходе испытаний.

При проведении работы использован метод сравнительного исследования штатного и опытного масел.

В техническом отчете приведены результаты сравнительных стендовых испытаний двигателей со смазочной композицией в условиях низких температур и проведен их анализ. Дана оценка степени надежности двигателя в экстремальных условиях при применении смазочных композиций на основе добавки ФОРУМ-В.

Содержание

Введение	
1 Общие положения	
1.1 Основания для проведения испытаний	
1.2 Объекты испытаний	
1.3 Цели испытаний.....	
2 Экспериментальные исследования.....	
2.1 Объем испытаний	
2.2 Экспериментальная установка.....	
2.3 Условия проведения испытаний.....	
2.4 Измеряемые и контролируемые параметры	
2.5 Метрологическое обеспечение испытаний.....	
3 Результаты испытаний	
3.1 Оценка показателей пуска двигателя на первом этапе испытаний.....	
3.1.1 Общая оценка пусков и работы двигателя	
3.1.2 Оценка параметров электростартерной системы пуска двигателя	
3.2 Анализ изменения показателей моторного масла.....	
3.2.1 Физико-химический анализ масла.....	
3.2.2 Спектрально-феррографический анализ масла.....	
3.3 Оценка технического состояния и износов деталей двигателя	
3.3.1 Общее состояние и пусковые износы деталей двигателя	
3.3.2 Загрязненность деталей двигателя	
4 Выводы	
Заключение.....	
Приложение А – Сопроводительная документация применяемых смазочных материалов	
Приложение Б – График зависимости крутящего момента стартера от частоты вращения шестерни стартера и силы тока.....	
Приложение В – Внешний вид деталей двигателя после проведения испытаний	

Нормативные ссылки

В настоящем техническом отчете использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 33-2000 Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости

ГОСТ 305-82 Топливо дизельное. Технические условия

ГОСТ 2477-65 Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды

ГОСТ 4333-87 Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле

ГОСТ 6370-83 Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей

ГОСТ 8581-78 Масла моторные для автотракторных дизелей. Технические условия

ГОСТ 11362-96 Нефтепродукты и смазочные материалы. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования

ГОСТ 12417-94 Нефтепродукты. Метод определения сульфатной золы

ГОСТ 20287-91 Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания

Обозначения и сокращения

В настоящем техническом отчете применяются следующие обозначения и сокращения:

ВАТ – военная автомобильная техника

ГРМ – газораспределительный механизм

ГСМ – горюче-смазочные материалы

КИА – контрольно-измерительная аппаратура

КПД – коэффициент полезного действия

КШМ – кривошипно-шатунный механизм

НТД – нормативно-техническая документация

Опытное масло – смазочная композиция моторного масла М-8Г₂к и добавки

ФОРУМ-В

ПТФЭ-добавка – политетрафторэтилен-добавка

ЦПГ – цилиндропоршневая группа

Штатное масло – моторное масло М-8Г₂к

ЭФУ – электрофакельное устройство

Введение

Эксплуатация современной ВАТ может осуществляться в самых разнообразных климатических условиях. При этом наиболее сложным является использование техники в условиях холодного климата.

В настоящее время работы по повышению эффективности использования техники в условиях низких температур окружающего воздуха ведутся по ряду направлений. Одним из таких направлений является создание многофункциональных присадок (добавок) для смазочных материалов, способных облегчить пуск холодного двигателя и снизить износ деталей, в том числе в режиме «масляного голодания», что позволит улучшить надежность и эксплуатационные свойства двигателей ВАТ.

Такой добавкой является и ФОРУМ-В, разработанный в Институте химии ДВО РАН.

В рамках темы «Отповедь-3» добавка ФОРУМ подвергалась испытаниям в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения» и в ОАО «КАМАЗ». Добавка ФОРУМ вводилась в моторные и трансмиссионные масла. Наиболее интересные результаты получены при режимах испытаний, имитирующих аварийную ситуацию – работу агрегатов без масла в режиме «сухого» трения.

1 Общие положения

1.1 Основания для проведения испытаний

1.1.1 Составная часть НИР «Исследования по разработке высокотемпературных многофункциональных присадок для смазочных материалов, применяемых на перспективной военной технике» выполнялась в соответствии с Государственным оборонным заказом на 2004 г., утвержденным постановлением Правительства РФ №790-48 от 30 декабря 2003 г. в части НИОКР.

1.1.2 Испытания проводились по программе-методике, разработанной на основе технического задания на составную часть НИР (с дополнениями №№1, 2 и 3). Программа-методика сравнительных испытаний по определению влияния смазочных композиций на основе добавки ФОРУМ-В на надежность и эксплуатационные свойства двигателей ВАТ в условиях низких температур окружающего воздуха согласована между Институтом химии ДВО РАН, ОАО «КАМАЗ», ФГУП «25 ГосНИИ Минобороны России» и ФГУП 21 НИИ Минобороны России.

1.2 Объекты испытаний

1.2.1 Противозносная антифрикционная ПТФЭ-добавка ФОРУМ-В изготовленная Институтом химии ДВО РАН по ТУ 0257-008-02698192-2002. Внешний вид флакона добавки ФОРУМ-В показан на *рисунке 1*.

1.2.2 Моторное масло М-8Г₂к, изготовленное по ГОСТ 8581. Паспорт добавки ФОРУМ-В и масла М-8Г₂к приведены в *приложении А*.

1.2.3 Двигатель КАМАЗ-740 серийного производства.

1.3 Цели испытаний

1.3.1 Определение влияния опытного масла на надежность эксплуатационные свойства двигателей ВАТ в условиях низких температур окружающего воздуха.

1.3.2 Оценка динамики изменения эксплуатационных свойств опытного масла в ходе испытаний.

1.3.3 Подготовка материалов и выдача рекомендаций для принятия Решения о применении добавки ФОРУМ-В в ВЛГ или о проведении дополнительных испытаний.



Рисунок 1 – Флакон противоизносной антифрикционной ПТФЭ-добавки ФОРУМ-В

2 Экспериментальные исследования

2.1 Объем испытаний

2.1.1 Сравнительные испытания состояли из двух циклов. Первый цикл проводился на штатном масле с целью получения эталонных характеристик. Второй цикл проводился на опытном масле.

2.1.2 На каждом цикле испытаний выполнялись следующие действия.

2.1.2.1 Разборочно-сборочные работы по двигателю КАМАЗ-740, включающие в себя: разборку двигателя; обязательную замену деталей ЦПГ, коленчатого вала, вкладышей коренных и шатунных подшипников; сборку и регулировку двигателя. При этом детали, подвергаемые обязательной замене, для

каждого цикла сравнительных испытаний устанавливались из одних и тех же партий.

2.1.2.2 Нарботка двигателя в течение 50 часов на испытываемом масле.

2.1.2.3 Разборочно-сборочные работы по двигателю с проведением осмотра приработки и микрометрирование деталей по следующим размерам:

- внутренний диаметр гильз цилиндров;
- радиальная толщина поршневых колец;
- диаметр коренных и шатунных шеек коленчатого вала;
- толщина вкладышей коренных и шатунных подшипников.

2.1.2.4 Пуски двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха.

2.1.2.5 Разборка двигателя, проведение внешнего осмотра и микрометрирование деталей. Микрометрирование проводилось аналогично подпункту 2.1.2.3.

Примечание – Разборочно-сборочные работы, наработка двигателя на испытываемом масле, а также часть операций микрометрирования выполнялись на Можайском авторемонтном заводе

2.1.3 Пуски двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха проводились в два этапа. На первом этапе осуществлялось прокручивание коленчатого вала электростартерной системой пуска с целью оценки среднего момента сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя в период пуска. На втором этапе оценивались пусковые износы деталей. Температура окружающего воздуха была выбрана минимальной, исходя из возможности пуска двигателя без использования средств облегчения пуска (минус 10 °С) и с использованием ЭФУ (минус 22 °С). Общая характеристика пусков в условиях низких температур окружающего воздуха приведена в *таблице 1*.

Таблица 1 – Общая характеристика пусков двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха

Этап	Температура окружающего воздуха, °С	Количество пусков	Использование средств облегчения пуска
1	- 10	6	Без использования
	- 22	6	С использованием ЭФУ
2	- 10	20	Без использования
	- 22	14	С использованием ЭФУ

2.1.4 Средний момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя в период пуска определялся в следующей последовательности:

- по графику зависимости силы тока от времени на участке, соответствующем одному циклу работы двигателя (два оборота коленчатого вала), находились средняя частота вращения коленчатого вала и среднее значение силы тока. Начало отсчета участка велось с 4...6 оборота от момента включения стартера;
- рассчитывалась средняя частота вращения шестерни стартера по формуле:

$$n_{ст} = i_{ст-дв} \cdot n_{дв} = 11,3 \cdot n_{дв} \quad (1)$$

где $i_{ст-дв}$ – передаточное число в зубчатом зацеплении шестерня стартера –
 – маховик двигателя, для двигателя КАМАЗ-740 $i_{ст-дв} = 11,3$;
 $n_{дв}$ – средняя частота вращения коленчатого вала.

- по графику зависимости крутящего момента стартера от частоты вращения шестерни стартера и силы тока находился средний крутящий момент стартера (данный график получен по результатам тарировки стартера на специальных весах; график приведен в *приложении Б*);

- рассчитывался средний момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя по формуле:

$$M_{сопр. дв} = i_{ст-дв} \cdot \eta \cdot M_{ст} = 11,3 \cdot 0,85 \cdot M_{ст} = 9,6 \cdot M_{ст} \quad (2)$$

где η – КПД зубчатого зацепления шестерня стартера – маховик двигателя, принимается $\eta = 0,85$;

$M_{ст}$ – средний крутящий момент стартера.

2.1.5 В ходе проведения сравнительных испытаний производился отбор проб испытываемого масла.

2.1.5.1 График отбора проб масла аналогичный для каждого цикла испытаний приведен в *таблице 2*.

Таблица 2 – График отбора проб испытываемого масла

Этап	Обозначение пробы	Описание пробы
Подготовительный	1.1	Свежее масло (до работы)
	1.2	После первых 30 мин наработки двигателя
1	2.1	После 6 пусков при температуре - 10 °С
	2.2	После 6 пусков при температуре - 22 °С
2	3.1	После первых 10 пусков при температуре - 10 °С
	3.2	После заключительных 10 пусков при температуре - 10 °С
	3.3	После первых 10 пусков при температуре - 22 °С
	3.4	После заключительных 4 пусков при температуре - 22 °С

Примечание – Проба 1.2 отбиралась из масла аналогичного испытываемому, но использовавшегося только при наработке двигателя в течение 50 часов, что учтено при обработке результатов анализа проб моторного масла

2.1.5.2 Проба 1.1 на первом цикле испытаний отбиралась из тары со свежим штатным маслом, на втором цикле – из тары с приготовленным опытным маслом. Остальные пробы отбирались из главной масляной магистрали двигателя.

2.1.5.3 Отобранные пробы моторного масла подвергались спектрально-феррографическому и физико-химическому анализу. Спектрально-феррографический анализ проводился с целью исследования параметров частиц, присутствующих в пробах. Показатели масла, определяемые в отобранных пробах при проведении физико-химического анализа, указаны в *таблице 3*.

Примечание – Спектрально-феррографический анализ масла проводился при участии ООО «Химмотология» (г. Чехов, Московская область)

Таблица 3 – Показатели масла, определяемые при проведении физико-химического анализа

Наименование показателя	Единица измерения	Обозначение НТД на метод испытания
Вязкость кинематическая при температуре 100 °С	мм ² /с	ГОСТ 33
Щелочное число	мг КОН/г	ГОСТ 11362
Кислотное число	мг КОН/г	ГОСТ 11362
Температура вспышки в открытом тигле	°С	ГОСТ 4333
Температура застывания	°С	ГОСТ 20287
Зольность сульфатная	%	ГОСТ 12417
Содержание воды	%	ГОСТ 2477
Содержание механических примесей	%	ГОСТ 6370

2.2 Экспериментальная установка

2.2.1 Пуски двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха проводились в климатической камере (климат-термобароклаве) NEMA-8000, принадлежащий ФГУП 21 НИИИ Минобороны России. Данная климатическая камера позволяет проводить испытания объектов в диапазоне температур от плюс 300 до минус 65 °С. Внешний вид камеры показан на *рисунке 2*.

2.2.2 Испытываемый двигатель КАМАЗ-740 был смонтирован на подвижный стенд, оснащенный радиатором системы охлаждения и топливным баком. Питание электропотребителей двигателя осуществлялось от двух аккумуляторных батарей 6СТ-190АП. Батареи располагались вне климатической камеры. Установленный в камеру подвижный стенд показан на *рисунке 3*, а пульт управления двигателем – на *рисунке 4*.

2.2.3 В состав экспериментальной установки входила следующая КИА:

- измерительно-вычислительный комплекс «МІС-400D», показанный на *рисунке 5*;
- безбумажный регистратор «МЕМОГРАФ»;
- амперметр;
- тахометр;
- манометр системы смазки.

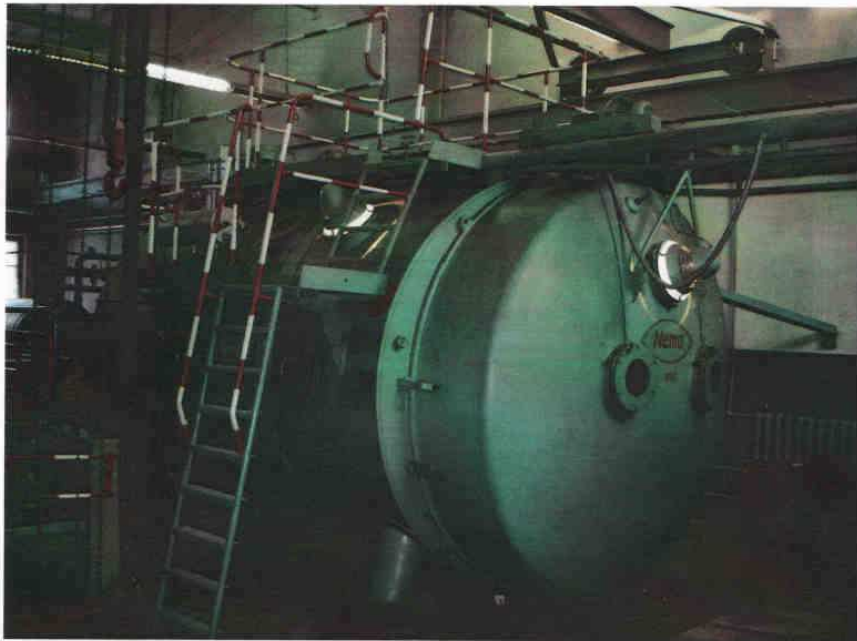


Рисунок 2 – Климатическая камера NEMA-8000

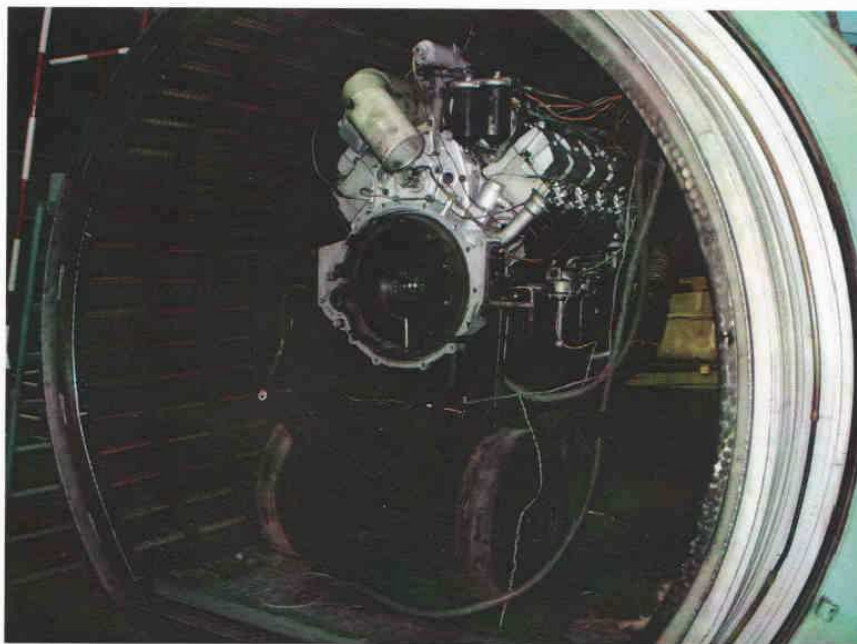


Рисунок 3 – Подвижный стенд с двигателем КАМАЗ-740, размещенный в климатической камере

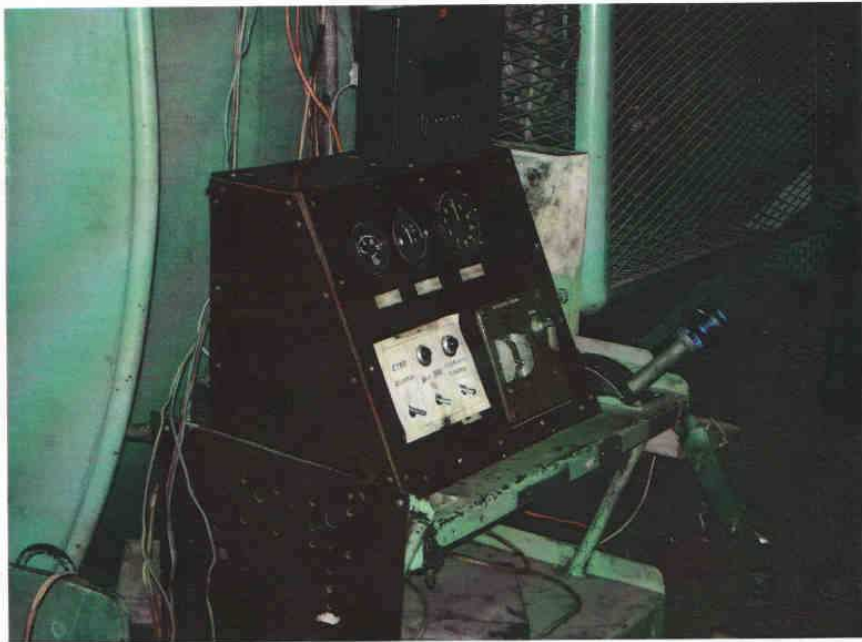


Рисунок 4 – Пульт управления двигателем

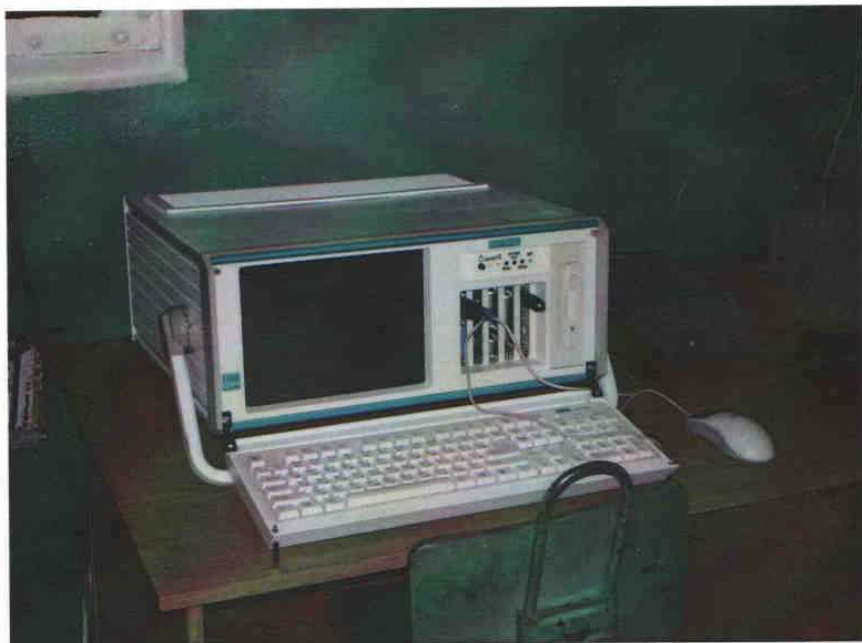


Рисунок 5 – Измерительно-вычислительный комплекс «MIC-400D»

2.3 Условия проведения испытаний

2.3.1 ГСМ для проведения испытаний выбирались в соответствии с основными марками, заложенными в химотологические карты на ВАТ с двигателями КАМАЗ-740:

- зимняя марка моторного масла М-8Г₂к по ГОСТ 8581;
- дизельное топливо А-0,4 по ГОСТ 305;
- охлаждающая жидкость Тосол А-40М по ТУ 6-57-95-96.

Примечание – В ходе испытаний использовалось дизельное топливо А-0,4 с рекомендуемой температурой применения от минус 50 до минус 30 °С, так как при подготовке двигателя к пуску температура воздуха в климатической камере может опускаться ниже минус 30 °С

2.3.2 Выдержка двигателя при достижении требуемых значений температур производилась в течение периода времени не менее 30 мин. Температура воздуха в камере выдерживалась с точностью плюс-минус 2 °С, а остальные контролируемые значения температур – с точностью плюс-минус 1 °С.

2.3.3 Проворачивание коленчатого вала электростартерной системой пуска с целью оценки среднего момента сопротивления осуществлялось в течение 15 с при отключенной подаче топлива.

2.3.4 Максимальная продолжительность попытки пуска двигателя составляла 30 с. Перерыв между попытками составлял не менее 1 мин.

2.3.5 После пуска двигатель подвергался прогреву до температуры охлаждающей жидкости плюс 40 °С.

2.3.6 Пробы масла из главной масляной магистрали отбирались непосредственно после остановки прогретого двигателя. Долив испытываемого масла осуществлялся по весу отобранных проб.

2.3.7 В ходе испытаний периодически контролировалось техническое состояние двигателя путем проведения внешнего осмотра и контроля за уровнем масла в картере и уровнем охлаждающей жидкости. Заправка двигателя топливом проводилась по мере выработки его запаса.

2.3.8 При проведении обоих циклов испытаний из системы смазки двигателя был исключен центробежный фильтр очистки масла с целью предотвращения возможного отделения добавки ФОРУМ-В от опытного масла.

2.4 Измеряемые и контролируемые параметры

КИА, входящая в состав экспериментальной установки, позволяла измерять и контролировать ряд параметров, перечень которых приведен в *таблице 4*.

Таблица 4 – Измеряемые и контролируемые параметры

Измеряемые параметры	Контролируемые параметры
Сила тока в цепи стартера в зависимости от времени	Сила тока в общей цепи электропотребителей двигателя
Напряжение на стартере в зависимости от времени	-
-	Температура: <ul style="list-style-type: none"> - охлаждающей жидкости в коробке термостатов; - топлива в баке; - масла в поддоне в районе контрольного щупа; - масла в главной масляной магистрали; - воздуха в камере перед двигателем; - воздуха в камере за двигателем
-	Частота вращения коленчатого вала двигателя
-	Давления масла в главной масляной магистрали
-	Время: <ul style="list-style-type: none"> - разогрева ЭФУ; - общее [время] работы ЭФУ; - работы стартера; - до устойчивой работы двигателя; - прогрева двигателя

2.5 Метрологическое обеспечение испытаний

2.5.1 Метрологическое обеспечение испытаний проводилось с целью достижения требуемой точности, достоверности, воспроизводимости и сопоставимости полученных результатов.

2.5.2 Для получения значений измеряемых и контролируемых параметров использовалась типовая КИА. Все параметры проверялись исправными средствами измерений, прошедшими в установленные сроки метрологическую поверку и аттестацию.

3 Результаты испытаний

3.1 Оценка показателей пуска двигателя на первом этапе испытаний

3.1.1 Общая оценка пусков и работы двигателя

Основные параметры и результаты пусков двигателя на штатном масле приведены в *таблице 5*, а на опытном – в *таблице 6*.

Таблица 5 – Основные параметры и результаты пусков двигателя на штатном масле

№ опыта	Температура окружающего воздуха, °С	Условия пуска	№ результативной попытки пуска	Средняя частота вращения коленвала двигателя, мин ⁻¹	Время до устойчивой работы двигателя, мин:с
Ш 1	- 10	Без ЭФУ	7	42,9	1:45
Ш 2	- 10	То же	4	41,4	2:30
Ш 3	- 10	«	5	40,0	1:55
Ш 4	- 10	«	3	35,3	3:30
Ш 5	- 10	«	8	63,2	1:50
Ш 6	- 10	«	5	30,0	2:10
Ш 7	- 22	С ЭФУ	3	.*	.*
Ш 8	- 22	То же	4	44,4	3:00
Ш 9	- 22	«	2	63,2	4:38
Ш 10	- 22	«	2	60,0	2:15
Ш 11	- 22	«	2	54,5	4:00
Ш 12	- 22	«	2	28,6	4:00

Примечание – Данные, отмеченные знаком *, утрачены

Таблица 6 – Основные параметры и результаты пусков двигателя на опытном масле

№ опыта	Температура окружающего воздуха, °С	Условия пуска	№ результативной попытки пуска	Средняя частота вращения коленвала двигателя, мин ⁻¹	Время до устойчивой работы двигателя, мин:с
О 1	- 10	Без ЭФУ	4	54,5	0:37
О 2	- 10	То же	3	44,4	1:40
О 3	- 10	«	4	44,4	1:20
О 4	- 10	«		36,4	-*
О 5	- 10	«	4	52,5	1:10
О 6	- 10	«	3	-*	1:50
О 7	- 22	С ЭФУ	5	41,4	-*
О 8	- 22	То же	5	60,0	-*
О 9	- 22	«	5	57,1	1:10
О 10	- 22	«	5	42,9	1:20
О 11	- 22	«	5	52,2	1:10
О 12	- 22	«	4	52,2	2:15

Примечание – Данные, отмеченные знаком *, утрачены

Анализ результатов пусков двигателя как без использования средств облегчения пуска, так и с использованием ЭФУ с учетом существующих норм времени на пуск, установленных в НТД (не более 45 с), показывает, что при применении и штатного, и опытного масел пуск данного двигателя нельзя считать надежным.

Однако, время до устойчивой работы двигателя на опытном масле при температуре окружающего воздуха минус 10 °С по сравнению со штатным маслом в среднем уменьшилось на 35 %, а при температуре окружающего воздуха минус 22 °С – на 60 %.

3.1.2 Оценка параметров электростартерной системы пуска двигателя

Параметры электростартерной системы пуска двигателя в процессе проведения испытаний для штатного масла приведены в *таблице 7*, а для опытного – в *таблице 8*.

При температуре минус 10 °С без применения средств облегчения пуска на штатном масле электростартерная система пуска обеспечивает проворачивание коленчатого вала при первой попытке с частотой вращения 30...63 мин⁻¹ и

последующий пуск двигателя, сила тока в цепи стартера достигает в среднем значений порядка 861 А при падении напряжения на стартере до 16...17 В, при применении опытного масла частота вращения – 44...54,5 мин⁻¹, сила тока – 895 А, падение напряжения – 16...17 В.

При температуре минус 22 °С с применением ЭФУ на штатном масле электростартерная система пуска обеспечивает проворачивание коленчатого вала при первой попытке с частотой вращения 28...63 мин⁻¹. В этих условиях сила тока в цепи стартера достигает значений порядка 912 А при падении напряжения на стартере до 14...16 В.

Таблица 7 – Параметры электростартерной системы пуска двигателя в процессе проведения испытаний на штатном масле

№ опыта	Средняя частота вращения шестерни стартера, мин ⁻¹	Падение напряжения на стартере, В		Сила тока в цепи стартера, А		Средний крутящий момент стартера, Н·м	Средний момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала, Н·м
		макс.	сред.	макс.	сред.		
Ш 1	485	8,12	6,64	811,7	543,1	32,17	309,2
Ш 2	468	8,06	6,90	836,3	558,2	33,15	318,6
Ш 3	452	8,54	6,96	863,1	577,4	33,45	322,3
Ш 4	399	8,65	7,37	842,2	551,4	32,95	316,6
Ш 5	714	8,03	5,64	975,6	552,6	32,96	311,0
Ш 6	339	7,47	5,78	840,3	496,3	29,22	280,8
Среднее значение по 6 опытам	476	8,14	6,55	861,5	546,5	31,82	309,8
Ш 7	-	-	-	-	-	-	-
Ш 8	903	8,45	7,05	902,7	628,8	38,05	365,7
Ш 9	913	8,20	6,14	912,6	544,9	31,77	305,3
Ш 10	910	8,64	6,14	910,3	583,4	34,32	329,8
Ш 11	834	7,85	5,63	833,5	510,9	29,88	286,5
Ш 12	777	6,98	5,37	776,5	530,5	31,77	305,3
Среднее значение по 6 опытам	867	8,03	6,07	867,12	559,7	33,19	318,52

Таблица 8 – Параметры электростартерной системы пуска двигателя в процессе проведения испытаний на опытном масле

№ опыта	Средняя частота вращения шестерни стартера, мин ⁻¹	Падение напряжения на стартере, В		Сила тока в цепи стартера, А		Средний крутящий момент стартера, Н·м	Средний момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала, Н·м
		макс.	сред.	макс.	сред.		
О 1	616	84,6	7,42	813,0	610,6	36,48	350,6
О 2	502	7,66	6,75	866,9	634,3	38,64	371,3
О 3	502	8,67	7,81	949,6	609,8	36,68	352,5
О 4	411	8,58	6,86	967,0	619,2	37,66	361,9
О 5	590	8,02	6,63	879,4	589,6	35,11	337,4
О 6	-	-	-	-	-	-	-
Среднее значение по 6 опытам	524	8,28	7,09	895,2	612,7	36,91	354,7
О 7	468	7,95	7,00	865,0	664,8	40,99	393,9
О 8	678	8,46	7,26	911,3	663,2	40,40	388,3
О 9	646	-	-	911,7	692,2	42,56	409,0
О 10	484	9,30	7,54	983,9	656,8	40,40	388,3
О 11	590	8,96	7,91	973,7	685,5	42,17	405,5
О 12	590	7,03	6,36	782,2	584,	34,72	333,6
Среднее значение по 6 опытам	576	8,50	7,45	904,6	657,9	40,21	386,4

При использовании опытного масла электростартерная система пуска обеспечивает проворачивание коленчатого вала с частотой 41...57 мин⁻¹. В этих условиях сила тока стартера достигает значений порядка 904 А при падении напряжения на стартере до 12...14 В.

Средний момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала у опытного масла выше.

3.2 Анализ изменения показателей моторного масла

3.2.1 Физико-химический анализ масла

Результаты изменения физико-химических показателей штатного масла представлены в *таблице 9*, а опытного – в *таблице 10*. Изменение основных физико-химических показателей испытываемых масел также показано на *рисунке 6*.

Сопоставление результатов физико-химического анализа штатного и опытного масел представлено в *таблице 11*.

Таблица 9 – Изменение физико-химических показателей штатного масла

Наименование показателя	Единица измерения	Обозначение пробы						
		1.1	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	3.4
Вязкость кинематическая при температуре 100 °С	мм ² /с	8,27	7,15	6,69	5,86	5,42	4,64	4,13
Щелочное число	мг КОН/г	4,60	3,75	3,43	2,90	2,65	0,72	0,59
Кислотное число	мг КОН/г	0,43	0,58	0,56	0,92	1,45	1,01	0,88
Температура вспышки в открытом тигле	°С	195	154	142	110	108	110	109
Температура застывания	°С	-39	-40	-41	-44	-46	-45	-45
Зольность сульфатная	%	0,44	0,35	0,40	0,46	0,63	0,16	0,17
Содержание воды	%	отсутствует	следы	следы	следы	следы	следы	следы
Содержание механических примесей	%	0,02	0,09	0,14	0,27	0,45	0,24	0,13

Таблица 10 – Изменение физико-химических показателей опытного масла

Наименование показателя	Единица измерения	Обозначение пробы						
		1.1	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	3.4
Вязкость кинематическая при температуре 100 °С	мм ² /с	8,20	7,40	5,90	5,60	5,50	5,00	4,60
Щелочное число	мг КОН/г	4,60	4,30	4,00	3,90	3,20	2,80	2,90
Кислотное число	мг КОН/г	0,43	0,57	0,63	0,68	0,83	0,92	0,90
Температура вспышки в открытом тигле	°С	199	152	140	135	128	123	120
Температура застывания	°С	-39	-39	-42	-42	-43	-43	-43
Зольность сульфатная	%	0,54	0,52	0,47	0,43	0,39	0,29	0,33
Содержание воды	%	отсутствует	0,03	0,18	0,27	0,30	0,31	0,33
Содержание механических примесей	%	0,09	0,18	0,21	0,35	0,35	0,34	0,48

Таблица 11 – Сопоставление результатов физико-химического анализа штатного и опытного масел

Наименование показателя	Масло	
	штатное	опытное
Вязкость кинематическая при температуре 100 °С	- 50,1 %	- 43,9 %
Щелочное число	- 87,2 %	- 37,0 %
Кислотное число	+ 104,6 %	+ 109,3 %
Температура вспышки в открытом тигле	- 44,1 %	- 39,7 %
Температура застывания	- 15,4 %	- 10,2 %
Зольность сульфатная	- 61,4 %	- 38,9 %
Содержание механических примесей	+ 6.5 раза	+ 5.3 раза

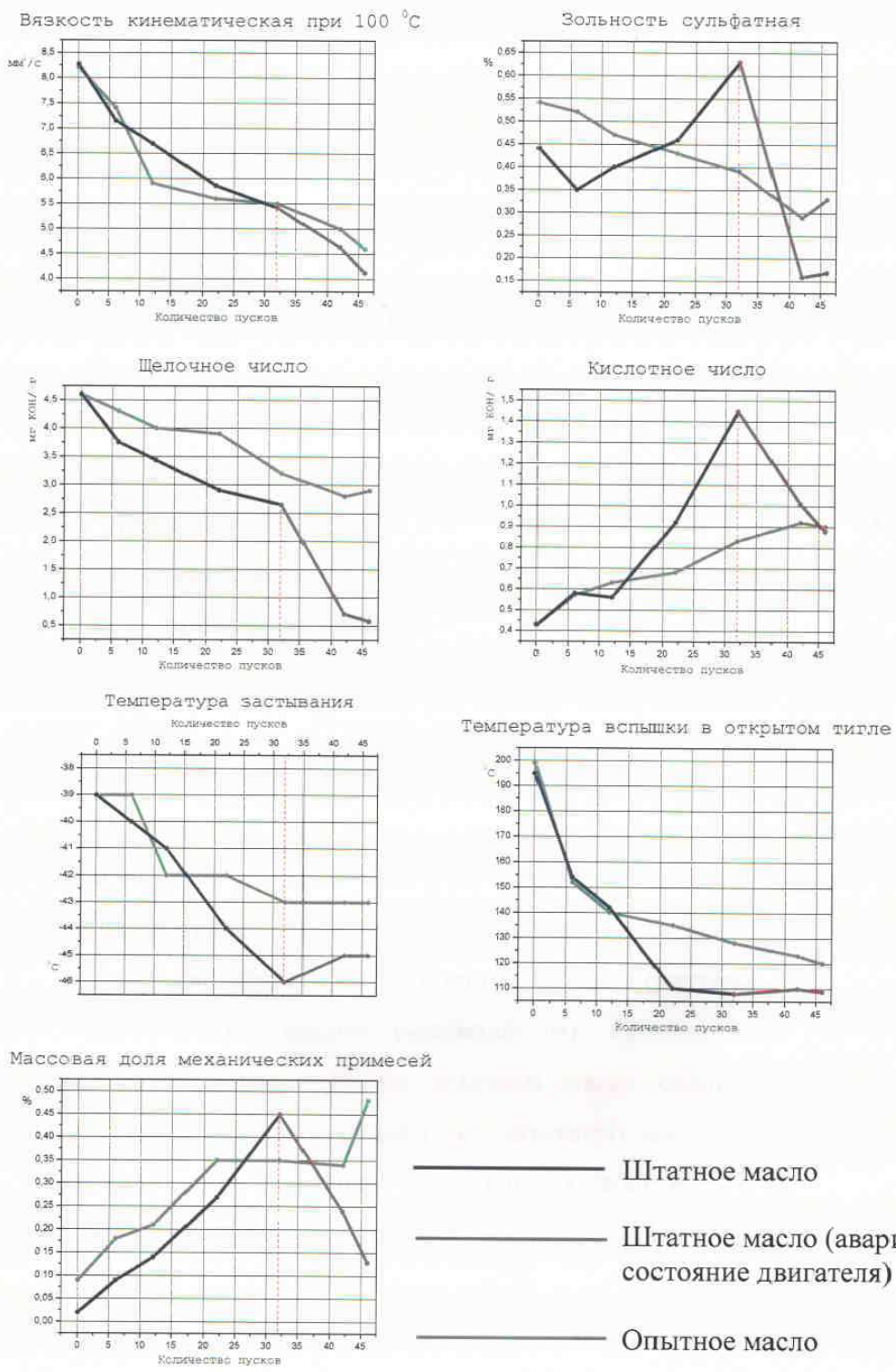


Рисунок 6 – Изменение основных физико-химических показателей испытываемых масел

Работа двигателя на режиме холостого хода и малых нагрузок является наиболее неблагоприятной. В данном случае создаются все предпосылки для образования в системе смазки воды: работа двигателя с пониженной температурой стенок гильз цилиндров, постоянные перепады температур от минус 22 до плюс 40 °С, работа двигателя без нагрузки. Наличие воды в штатном и опытном масле зафиксировано как визуально, так и при физико-химическом анализе. Находящаяся в масле вода не задерживается масляными фильтрами.

Действие воды заключается в следующем: вода способствует коагуляции диспергированных углеродистых частиц, в результате чего повышается осадкообразование в масле и увеличивается скорость загрязнения масла нерастворимыми примесями. Присутствие воды так же вызывает гидролиз пакета присадок и, таким образом, вымывает их. Работа двигателя в ходе испытаний на обводненном масле привела к ускоренному снижению щелочного числа и соответственно к ускоренному износу деталей.

При работе двигателя на штатном масле произошло снижение щелочного числа на 87 % (с 4,6 до 0,59 мг КОН/ г), а при работе на опытном масле – на 35 % (с 4,6 до 2,9 мг КОН/ г). Использование масла со значением щелочного числа менее чем 1 мг КОН/ г недопустимо. Присадки в штатном масле полностью разложились. О снижении антиокислительных и нейтрализующих свойств штатного масла говорит наличие в поддоне двигателя мазеподобного осадка (*рисунки В.1 и В.2*), являющегося металлическим мылом (мылонафтом), производным нафтенной кислоты. У двигателя работавшего на опытном масле осадка в поддоне не обнаружено. Снижение зольности сульфатной штатного масла так же косвенно говорит о его старении и о потере термоокислительных свойств.

Массовая доля механических примесей после испытаний у опытного масла выше, чем у штатного. Это объясняется наличием в масле добавки ФОРУМ-В. В процессе испытаний массовая доля механических примесей в опытном масле изменялась практически по линейному закону.

У штатного масла резкое снижение к завершению испытаний значений массовой доли механических примесей, температуры вспышки в открытом тигле, вязкости, и, как следствие, понижение температуры застывания произошло

предположительно из-за попадания в масло топлива при выходе из строя штанг толкателей.

3.2.2 Спектрально-феррографический анализ масла

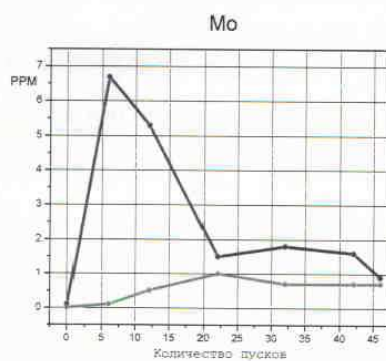
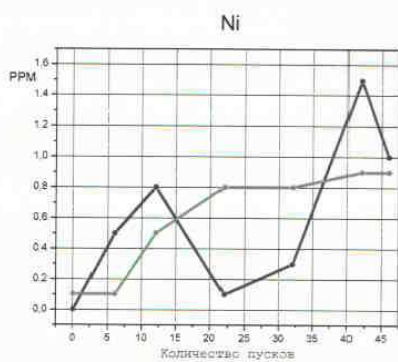
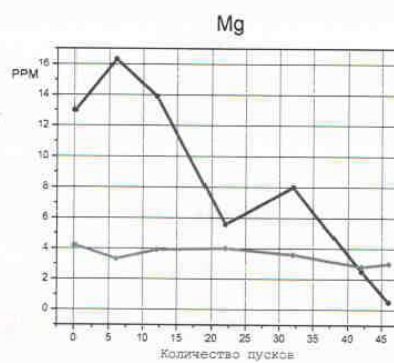
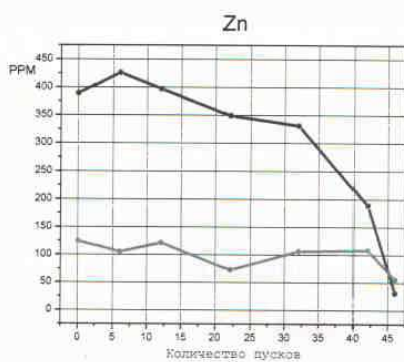
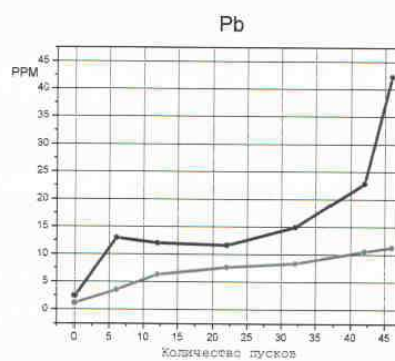
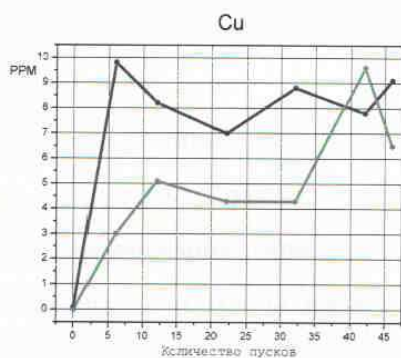
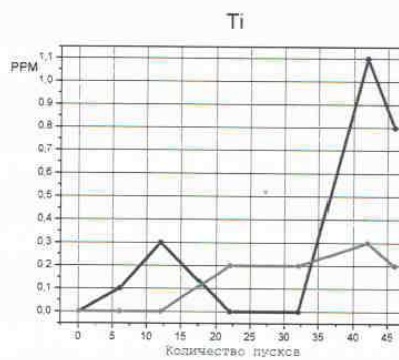
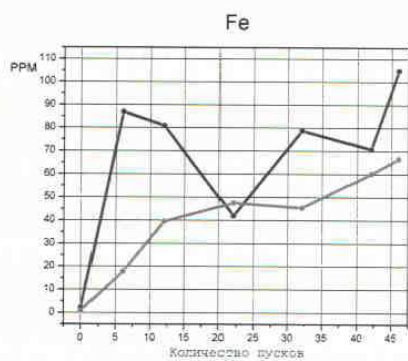
Результаты спектрального анализа на спектрометре SPECTROIL для штатного масла представлены в *таблице 12*, а для опытного – в *таблице 13*. Накопление основных химических элементов в испытываемых маслах также показано на *рисунке 7*.

Таблица 12 – Результаты спектрального анализа штатного масла

Наименование элемента	Обозначение пробы							
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	3.4
Fe	2,1	22,6	87,1	81,0	42,1	78,9	70,9	105,0
Cr	0,1	1,5	5,7	5,5	1,5	2,6	0,5	0,0
Pb	2,6	8,8	13,0	12,1	11,7	15,0	22,9	42,2
Cu	0,1	5,3	9,8	8,2	7,0	8,8	7,8	9,1
Sn	0,00	0,00	0,00	0,35	0,10	0,10	0,10	0,00
Al	1,8	5,2	11,7	10,5	4,9	22,2	19,3	10,9
Ni	0,0	0,0	0,5	0,8	0,1	0,3	1,5	1,0
Ag	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,2	0,1
Si	0,5	9,7	12,0	12,0	35,4	9,2	24,3	17,3
B	3,7	4,2	-	-	2,2	2,1	1,1	0,4
Na	8,6	21,9	37,3	49,3	20,6	38,0	17,8	5,3
Mg	13,0	14,6	16,3	13,9	5,6	8,0	2,5	0,5
Ba	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
P	268	287	-	-	222	190	219	220
Zn	389,0	432,0	426,0	397,0	349,0	331,0	189,0	31,0
Mo	0,1	2,7	6,7	5,3	1,5	1,8	1,6	0,9
Ti	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	1,1	0,8
V	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0
H	6560	6544	-	-	6342	6202	-	-
C	102313	102242	-	-	103392	100792	-	-

Таблица 13 – Результаты спектрального анализа опытного масла

Наименование элемента	Обозначение пробы							
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	3.4
Fe	0,8	7,7	17,8	39,6	47,6	45,6	60,2	66,7
Cr	0,0	3,5	5,6	9,2	10,0	8,3	8,0	9,3
Pb	1,3	3,6	3,6	6,4	7,7	8,4	10,6	11,3
Cu	0,0	3,1	3,0	5,1	4,3	4,3	9,6	6,5
Sn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,6	1,6	3,4	6,7	7,9	8,4	12,6	15,4
Ni	0,1	0,2	0,1	0,5	0,8	0,8	0,9	0,9
Ag	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Si	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B	1,7	1,6	1,5	1,6	1,5	1,4	1,0	1,0
Na	4,4	8,2	9,7	13,4	19,5	18,7	18,9	20,9
Mg	4,2	3,4	3,3	3,9	4,0	3,6	2,8	3,0
Ba	1,7	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P	298	303	272	237	261	260	239	220
Zn	124,0	127,0	105,0	121,0	72,1	106,0	108,0	55,2
Mo	0,0	0,2	0,1	0,5	1,0	0,7	0,7	0,7
Ti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2
V	0,2	0,4	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0
H	11091	11188	11197	10227	11401	10909	10350	10953
C	90228	89961	88704	90017	89792	91142	92794	90199



———— Штатное масло
 - - - - - Опытное масло

Рисунок 7 – Накопление основных химических элементов в испытываемых маслах

Из анализа графиков *рисунка 7* видно, что приработка основных деталей: гильзы цилиндров (Fe, Ni, Ti); поршневые кольца (Fe, Ni, P); шейки коленчатого вала (Fe, V, Mo); вкладыши подшипников (Pb) – завершается к 12 опыту. Необходимо отметить резкое снижение содержания Zn и Mg в пробах штатного масла и появление следов воды. Предположительно, цинкосодержащая противоизносная присадка ДФ-11 в присутствии конденсата, образовавшегося из-за работы двигателя с пониженной температурой стенок гильз цилиндров и с постоянными перепадами температур, разложилась на ZnO и диалкилдитиофосфорную кислоту, что и привело к лавинообразному увеличению износа трибосопряжений.

Из анализа данных, представленных в *таблицах 12* и *13*, а также на графиках *рисунка 7*, следует, что накопление продуктов износа в штатном масле происходит значительно интенсивнее, чем в опытном масле; причем зависимость накопления элементов в опытном масле практически линейная. После 46 пусков содержание железа в штатном масле составило 105,0 PPM, в то время как в опытном – 66,7 PPM, никеля соответственно 1,0 и 0,9 PPM, титана – 0,8 и 0,2 PPM, свинца – 42,2 и 11,3 PPM, молибдена – 0,9 и 0,7 PPM, меди – 9,1 и 6,5 PPM.

3.3 Оценка технического состояния и износов деталей двигателя

3.3.1 Общее состояние и пусковые износы деталей двигателя

3.3.1.1 Оценка состояния рабочих поверхностей и износов деталей двигателя на штатном масле

а) корпусные детали двигателя: блок цилиндров, передняя крышка блока цилиндров, картер маховика – находятся в удовлетворительном состоянии;

б) цилиндро-поршневая группа. Все детали ЦПГ двигателя, работавшего на штатном масле, находятся в удовлетворительном состоянии и пригодны к дальнейшей эксплуатации (за исключением коренных вкладышей 4-ой шейки коленчатого вала). Значения износов деталей ЦПГ представлены в *таблице 14*. Износы деталей не превышают предельных величин.

Таблица 14 – Средние износы деталей ЦПГ двигателя, работавшего на штатном масле

Наименование детали	Место измерения		Значение, мкм	
			максимальное	среднее
Гильзы цилиндров	Внутренний диаметр на расстоянии Н, мм от верхнего торца	Н = 28	+ 13,2	+ 14,0
		Н = 68	+ 9,8	+ 11,0
Поршневые кольца	Радиальная толщина	Первое кольцо	3,4	3,8
		Второе кольцо	1,6	2,2

Хон на рабочих поверхностях всех гильз цилиндров сохранился частично, заполировки отсутствуют. Поверхность гильз цилиндров, омываемая охлаждающей жидкостью, без следов кавитации (*рисунок В.3*).

Поршни имеют удовлетворительную приработку. Зона износа графитолового покрытия на юбках всех поршней расположена симметрично относительно оси поршня на уровне отверстия под поршневой палец, на остальной части юбки покрытие сохранилось. В отверстиях под поршневой палец и на кромках камер сгорания трещин нет (*рисунки В.5 и В.7*).

Поршневые кольца в удовлетворительном состоянии: трещин, сколов, отслоений и прижогов на износостойких покрытиях поверхностей нет (*рисунок В.9*).

Поршневые пальцы находятся в удовлетворительном состоянии, замечаний по приработке нет;

в) головки цилиндров находятся в удовлетворительном состоянии. Трещин на днищах головок, в том числе и радиальных трещин на кромках всех гнезд под седла клапанов не обнаружено.

Отложения нагара во впускном и выпускном каналах незначительны (максимальная толщина 0,15 мм).

Газовый стык в ходе испытаний обеспечил надежную работу двигателя. Состояние деталей, обеспечивающих газовый стык, удовлетворительное;

г) газораспределительный механизм. Состояние деталей ГРМ после испытаний удовлетворительное. Рабочие поверхности кулачков распределительного вала в удовлетворительном состоянии. На вершинах кулачков выкрашиваний нет, поверхности ровные и гладкие. Поверхности тарелок толкателей находятся в

удовлетворительном состоянии: выкрашивание и наплав тарелок отсутствует, приработка равномерная по всей поверхности.

Рабочие поверхности цапф стоек коромысел и бронзовых втулок коромысел натиров и задиров не имеют.

Однако, штанги толкателей выпускных клапанов 4-го и 8-го цилиндров имеют значительную деформацию (*рисунок В.11*). В результате разборки головок блока цилиндров и визуального осмотра деталей ГРМ установлено, что схватывания металлов на поверхностях трения и толкателей не обнаружено. Предположительной причиной изгиба штанг могло быть:

- относительное защемление клапанов в направляющих;
- повышенное сопротивление перемещению клапанов вследствие образования высоко- и низкотемпературных отложений из-за старения масла или термической деформации направляющих и клапанов;
- примерзание клапанов в направляющих.

Перечисленные факторы могли проявиться как совместно, так и в любой комбинации;

д) кривошипно-шатунный механизм. Детали КШМ находятся в удовлетворительном состоянии и пригодны к дальнейшей эксплуатации. Износы деталей КШМ приведены в *таблице 15*.

Таблица 15 – Средние износы деталей КШМ двигателя, работавшего на штатном масле

Наименование детали	Место измерения	Значение, мкм	
		максимальное	среднее
Коленчатый вал	Диаметр коренной шейки	2,6	3,6
	Диаметр шатунной шейки	2,2	3,4
Вкладыши коренных подшипников	Толщина верхнего вкладыша	4,5	6,4
	Толщина нижнего вкладыша	5,4	6,1
Вкладыши шатунных подшипников	Толщина верхнего вкладыша	3,2	6,5
	Толщина нижнего вкладыша	4,2	5,7

Поверхности коренных и шатунных шеек коленчатого вала находятся в удовлетворительном состоянии и замечаний по приработке не имеют (*приложение В*).

Шатунные вкладыши сохранили приработочный слой. На вкладышах имеются единичные неглубокие кольцевые риски и заполировки (*рисунок В.13*).

На рабочих поверхностях коренных вкладышей имеются единичные неглубокие кольцевые риски и заполировки (*рисунок В.15*). Приработочные покрытия сохранились. Нижний коренной вкладыш наиболее нагруженной 4-ой шейки имеет риски глубиной до 1,7 мм (до бронзового слоя) (*рисунок В.12*).

3.3.1.2 Оценка состояния рабочих поверхностей и износов деталей двигателя на опытном масле

а) корпусные детали двигателя: блок цилиндров, передняя крышка блока цилиндров, картер маховика – находятся в удовлетворительном состоянии;

б) цилиндро-поршневая группа. Все детали ЦПГ двигателя, работавшего на опытном масле, находятся в удовлетворительном состоянии и пригодны к дальнейшей эксплуатации. Значения износов деталей ЦПГ представлены в *таблице 16*. Износы деталей не превышают предельных величин.

Таблица 16 – Средние износы деталей ЦПГ двигателя, работавшего на опытном масле

Наименование детали	Место измерения	Значение, мкм		
		максимальное	среднее	
Гильзы цилиндров	Внутренний диаметр на расстоянии Н, мм от верхнего торца	Н = 28	+ 7,2	+ 12,0
		Н = 68	+ 6,5	+ 9,0
Поршневые кольца	Радиальная толщина	Первое кольцо	2,60	3,60
		Второе кольцо	0,02	0,50

Хон на рабочих поверхностях всех гильз цилиндров сохранился, заполировки отсутствуют. Поверхность гильз цилиндров, омываемая охлаждающей жидкостью, без следов кавитации (*рисунок В.4*).

Поршни имеют удовлетворительную приработку. Зона износа графитолового покрытия на юбках всех поршней расположена симметрично относительно оси поршня на уровне отверстия под поршневой палец, на остальной части юбки покрытие сохранилось. В отверстиях под поршневой палец и на кромках камер сгорания трещин нет (*рисунки В.6 и В.8*).

Поршневые кольца в удовлетворительном состоянии: трещин, сколов, отслоений и прижогов на износостойких покрытиях рабочих поверхностей колец нет (*рисунок В.10*).

Поршневые пальцы находятся в удовлетворительном состоянии, замечаний по приработке нет;

в) головки цилиндров находятся в удовлетворительном состоянии. Трещин на днищах головок, в том числе и радиальных трещин на кромках всех гнезд под седла клапанов не обнаружено.

Отложения нагара во впускном и выпускном каналах незначительны (максимальная толщина 0,10 мм).

Газовый стык в ходе испытаний обеспечил надежную работу двигателя. Состояние деталей, обеспечивающих газовый стык, удовлетворительное;

г) газораспределительный механизм. Состояние деталей ГРМ после испытаний удовлетворительное. Рабочие поверхности кулачков распределительного вала в удовлетворительном состоянии. На вершинах кулачков выкрашиваний нет, поверхности ровные и гладкие. Поверхности тарелок толкателей находятся в удовлетворительном состоянии: выкрашивание и наплав тарелок отсутствует, приработка равномерная по всей поверхности.

Рабочие поверхности цапф стоек коромысел и бронзовых втулок коромысел натиров и задиров не имеют.

д) кривошипно-шатунный механизм. Детали КШМ находятся в удовлетворительном состоянии и пригодны к дальнейшей эксплуатации. Износы деталей КШМ приведены в *таблице 17*.

Таблица 17 – Средние износы деталей КШМ двигателя, работавшего на опытном масле

Наименование детали	Место измерения	Значение, мкм	
		максимальное	среднее
Коленчатый вал	Диаметр коренной шейки	2,1	2,5
	Диаметр шатунной шейки	1,5	2,6
Вкладыши коренных подшипников	Толщина верхнего вкладыша	3,9	4,2
	Толщина нижнего вкладыша	4,6	5,4
Вкладыши шатунных подшипников	Толщина верхнего вкладыша	3,9	4,1
	Толщина нижнего вкладыша	3,9	4,1

Поверхности коренных и шатунных шеек коленчатого вала находятся в удовлетворительном состоянии и замечаний по приработке не имеют.

Коренные и шатунные вкладыши сохранили приработочный слой, замечаний по приработке не имеют (*рисунки В.14 и В.16*).

Из сравнительного анализа состояния рабочих поверхностей и износов деталей следует, что износ основных деталей двигателя, отработавшего на опытном масле ниже, чем у деталей двигателя отработавшего на штатном масле.

3.3.2 Загрязненность деталей двигателя

Детали двигателей покрыты тонкой масляной пленкой, под которой отсутствуют какие-либо отложения. Картерная часть блока цилиндров, передние и задние крышки чистые. Масляный поддон двигателя, работавшего на штатном масле, покрыт мазеобразными отложениями толщиной 15...20 мм, сетка маслозаборника на 10...15 % покрыта мазеобразными отложениями (*рисунок В.17*). Масляный поддон двигателя, работавшего на опытном масле, отложений не имеет, сетка маслозаборника чистая (*рисунок В.18*).

Огневое днище всех головок цилиндров двигателя, работавшего на штатном масле, на 80...90 % покрыто углеродистыми отложениями черного цвета средней твердости. По периферии расположен тонкий слой твердых углеродистых отложений (*рисунок В.19*). На тарелках выпускных клапанов под слоем сажи – тонкий слой зольных отложений (нагар). Внутренняя поверхность впускных и выпускных каналов на 70 % покрыта тонким слоем мягких углеродистых отложений. Клапанный механизм (стойки коромысел, коромысла, клапанные пружины) чистый. Внутренняя поверхность крышек головок цилиндров имеет мазеобразные вкрапления (*рисунок В.21*).

Огневое днище всех головок цилиндров двигателя, работавшего на опытном масле, на 10...15 % покрыто углеродистыми отложениями средней твердости. По периферии расположен тонкий слой твердых углеродистых отложений (*рисунок В.20*). На тарелках выпускных клапанов под слоем сажи – тонкий слой зольных отложений (нагар). Внутренняя поверхность впускных и выпускных каналов на 70 % покрыта тонким слоем мягких углеродистых отложений. Клапанный механизм чистый. Внутренняя поверхность крышек головок чистая (*рисунок В.22*).

Камеры сгорания всех поршней двигателя, работавшего на штатном масле, на 100 % покрыты слоем сажи, под которым просматривается слой лака черного цвета. На днищах поршней и в камерах сгорания отмечаются участки зольных отложений толщиной до 0,5 мм.

Камеры сгорания всех поршней двигателя, работавшего на опытном масле, на 10...15 % покрыты коричневыми отложениями средней твердости. На днищах поршней и в камерах сгорания отмечаются участки зольных отложений толщиной до 0,1 мм.

Верхние канавки поршней двигателя, отработавшего на штатном масле, имеют на внутренней поверхности твердые отложения нагара толщиной 0,4...0,6 мм от 30 до 70 % поверхности, остальные поверхности покрыты нагаром толщиной 0,10...0,15 мм. Верхние канавки поршней двигателя, отработавшего на опытном масле, на 60...90 % покрыты слоем толстых отложений средней твердости, достигающих величины зазора поршень – кольцо.

В канавках под вторые компрессионные кольца двигателя, отработавшего на штатном масле, наблюдаются отложения средней твердости толщиной 0,1...0,3 мм, покрывающие от 20 % до 50 % внутренней поверхности, и лак черного цвета. Канавки поршней двигателя, отработавшего на опытном масле, на 40...50 % покрыты слоем тонких углеродистых отложений, остальная поверхность покрыта лаком черного цвета.

Поверхности канавок под маслосъемные кольца двигателя, отработавшего на штатном масле, покрыты лаком от светло-коричневого до коричневого цвета, у

поршней двигателя, отработавшего на опытном масле, маслосъемные канавки на 50...70 % покрыты темно-коричневым и коричневым лаком.

Перемычки поршней между канавками под компрессионные кольца (первые перемычки) двигателя, отработавшего на штатном масле, покрыты лаком от темно-коричневого до светло-коричневого цвета до 70...80 % поверхности, остальная часть поверхности чистая. Перемычки поршней двигателя, отработавшего на опытном масле, на 70...80 % покрыты тонкими твердыми отложениями незначительной толщины и лаком черного цвета.

Общая загрязненность деталей двигателя, отработавшего на опытном масле, ниже загрязненности деталей двигателя, отработавшего на штатном масле.

4 Выводы

Из анализа состояния рабочих поверхностей и износов деталей следует, что износ основных деталей двигателя, отработавшего на опытном масле ниже, чем у деталей двигателя отработавшего на штатном масле.

Общая загрязненность деталей двигателя, отработавшего на опытном масле, ниже загрязненности деталей двигателя, отработавшего на штатном масле.

Старение, потеря смазывающих, термоокислительных, антикоррозионных свойств, в процессе испытаний у штатного масла выше.

Величина момента сопротивления, при прокручивании коленчатого вала двигателя в условиях низких температур, работавшего на моторном масле с добавкой ФОРУМ-В, выше, чем величина момента у двигателя, работавшего на штатном моторном масле без добавки. Вместе с тем, время работы на холостом ходу до готовности к принятию нагрузки, у двигателя работавшего на опытном масле значительно сократилось.

Заключение

Противоизносная антифрикционная ПТФЭ-добавка ФОРУМ-В при эксплуатации двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха, обеспечивает сокращение времени к принятию нагрузки, снижение загрязненности деталей двигателя при работе, снижает износ основных трибосопряжений, улучшает смазывающие, термоокислительные, антикоррозионные свойства масла, увеличивает срок службы моторного масла.

Добавка ФОРУМ-В может быть рекомендована для принятия Решения о применении на ВАТ при эксплуатации в условиях низких температур.

Список используемых источников

- 1 Методика по выбору точности средств измерений для разрабатываемой военной техники.
- 2 Руководство по эксплуатации и категорированию общевойсковых средств измерений в вооруженных силах.
- 3 ПМ 37.104.17.1214-2003 «Оценка работоспособности антифрикционной и противоизносной присадки к маслам «СУПЕР-ФОРУМ» на двигателе КАМАЗ-740.10 (VIII комплектации). Программа-методика».
- 4 7403 10-3902030 ПМ «Двигатели КАМАЗ-740.10. Испытания на безотказность. Программа-методика».

Приложение А

Сопроводительная документация применяемых смазочных материалов

ИНСТИТУТ ХИМИИ (статус ГУ)
ДВО РАН

690022, Владивосток-22, проспект 100-лет Владивостоку, 159.
тел. (4232)312590, факс (4232)311889, E-mail: chemi@online.ru

Исх. № _____

_____ 200 г.

ПАСПОРТ

ДАТА: _____ г.

ПАРТИЯ № 51

ПРОТИВОИЗНОСНАЯ АНТИФРИКЦИОННАЯ ПТФЭ-ДОБАВКА
ФОРУМ-В

Наименование показателя	Значение показателя
Массовая доля УПТФЭ, %	8
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40°С	71
Температура вспышки в открытом тигле, °С	165
Температура застывания, °С	- 15
Содержание воды, %	0,05
Плотность при 20°С, г/см ³	0,98

Партия ПТФЭ-добавки ФОРУМ-В соответствует ТУ 0257-008-02698192-2002

Зав. группой фторуглеродных материалов
к.х.н.

А.К. Цветников

Директор Института химии ДВО РАН,
академик

В.И. Сергиенко

ПАСПОРТ КАЧЕСТВА № 336

Лаборатория ГСМ ООО «ФаМас»

М.О., Воскресенский район, п. Виноградово, д.23

Аттестат соответствия №792 выданный Коломенским ЦСМ

действителен до 06.06.2006г.

«11» октября 2004г.

Наименование продукта: Масло моторное

Марка: М-8Г2К

Гост (ТУ) ГОСТ 8581 - 78

Резервуар (цистерна) № 4 В

Количество 7 л/3

Дата изготовления 16.10.04

Наименование показателя	Норма по ГОСТ	Фактически
1. Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100 С (41) при 0С, не более	8,0 ± 0,5 1200 90	8,5 818,4 * 94 *
2. Индекс вязкости, не менее	90	94 *
3. Массовая доля механических примесей, %, не более	0,015	0,0142 *
4. Массовая доля воды, не более	следы	следы *
5. Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, С, не ниже	205	205 *
6. Температура застывания, С, не выше	-30	-30 *
7. Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	отсутств.	отс *
8. Моющие средства по ПЗВ, баллы, не более	0,5	0,5 *
9. Щелочное число, мг КОН на 1 г масла, не менее	6,0	6,80 *
10. Зольность сульфатная, %, не более	1,15	1,01 *
11. Стабильность по индукционному периоду осадкообразования в течение 35 часов	выдерж.	выж. *
12. Цвет на колориметре ЦНТ с разбавлением в соотношении 1:85, единицы ЦНТ, не более	4,0	1,5 *
13. Плотность при 20 С, г/см ³ , не более	0,905	0,881 *
14. Массовая доля активных элементов, %, не менее кальция цинка фосфора	0,19 0,05 0,05	0,26 * 0,082 * 0,050 *
15. Степень чистоты, мг на 100г. масла, не более	500	442 *

Значение показателей с отметкой * - по паспорту поставщика (производителя) № 1140

Начальник лаборатории Жуков

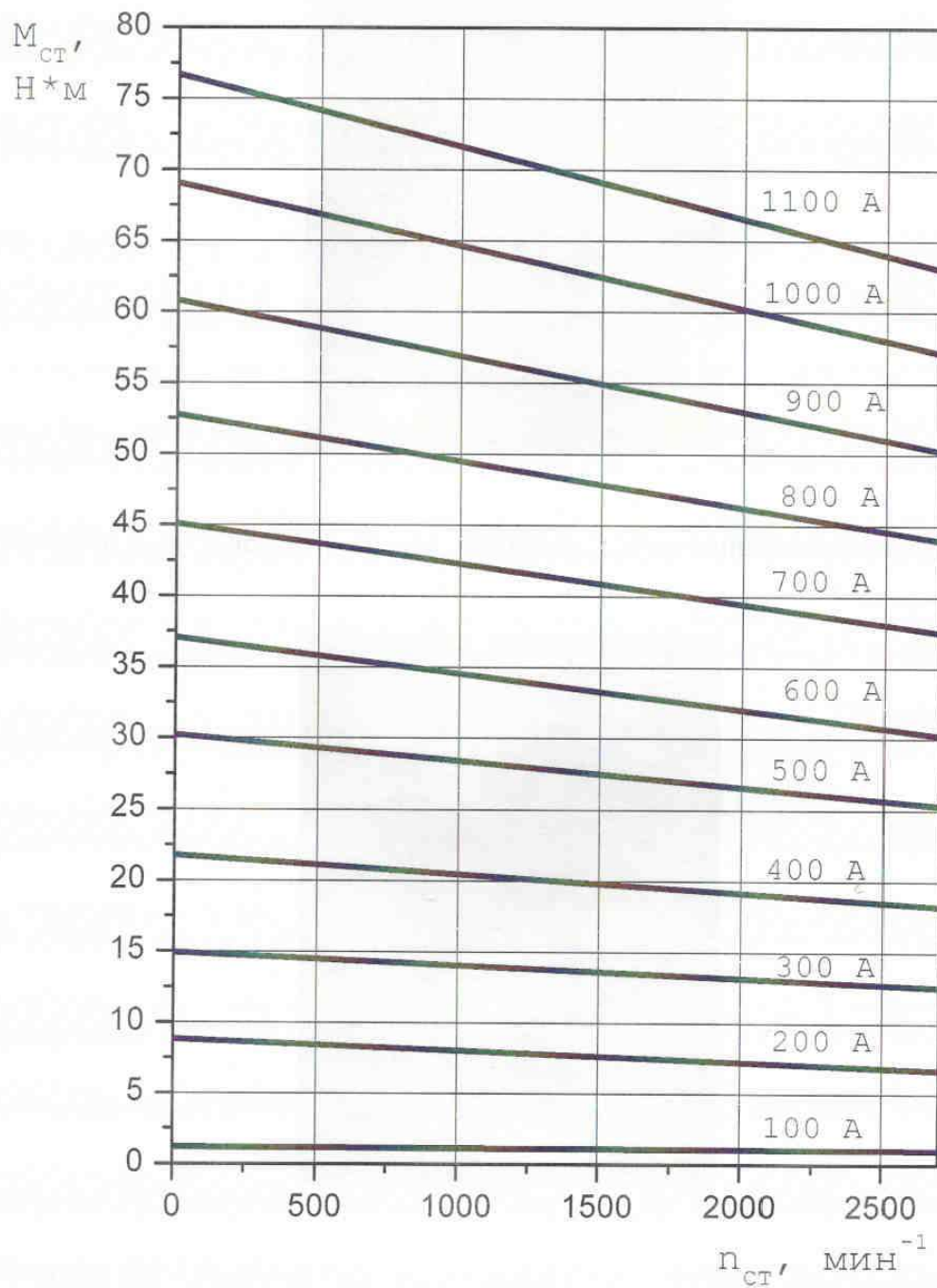


Дата выдачи паспорта 11.11.04



Приложение Б

График зависимости крутящего момента стартера от частоты вращения шестерни стартера и силы тока



Приложение В

Внешний вид деталей двигателя после проведения испытаний



Рисунок В.1 – Масляный поддон двигателя, заправленного штатным маслом



Рисунок В.2 – Масляный поддон двигателя, заправленного опытным маслом



Рисунок В.3 – Гильза цилиндров двигателя, заправленного штатным маслом



Рисунок В.4 – Гильза цилиндров двигателя, заправленного опытным маслом



Рисунок В.5 – Поршень двигателя, заправленного штатным маслом



Рисунок В.6 – Поршень двигателя, заправленного опытным маслом



Рисунок В.7 – Камера сгорания (двигатель, заправленный штатным маслом)



Рисунок В.8 – Камера сгорания (двигатель, заправленный опытным маслом)

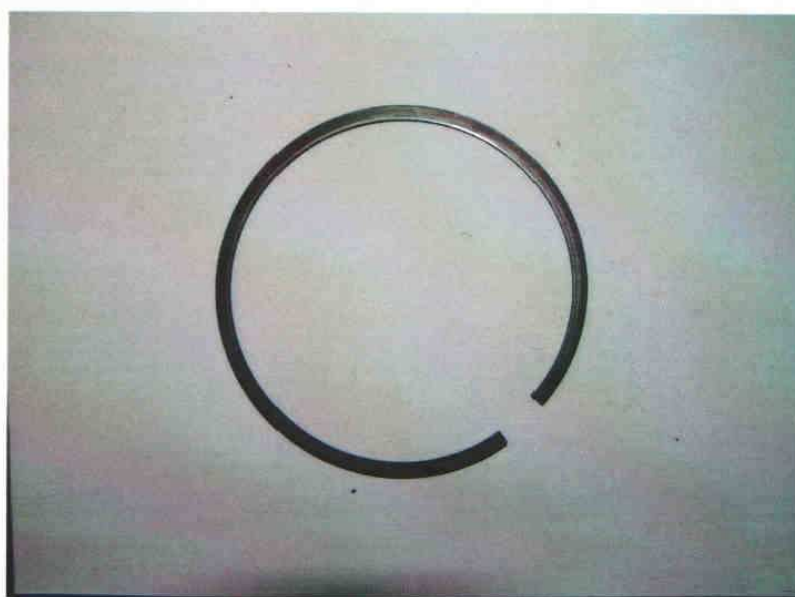


Рисунок В.9 – Поршневое кольцо двигателя, заправленного штатным маслом

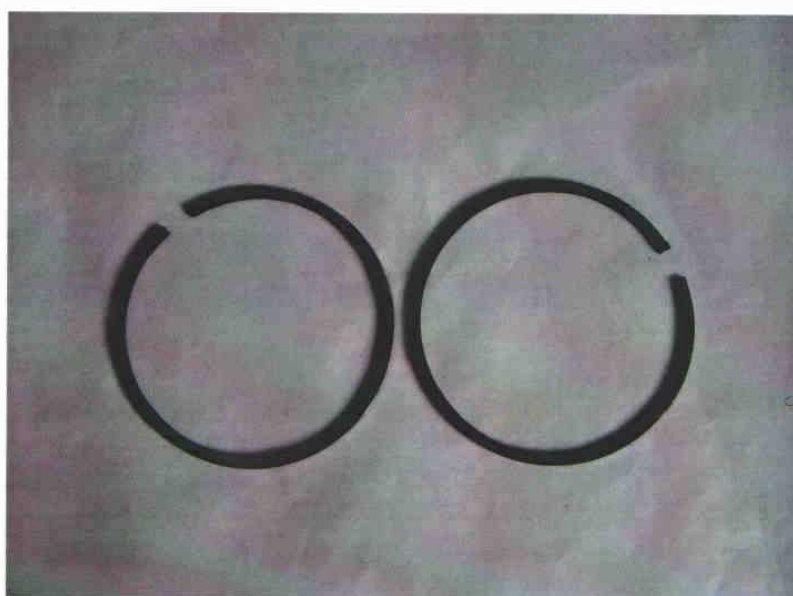


Рисунок В.10 – Поршневое кольцо двигателя, заправленного опытным маслом

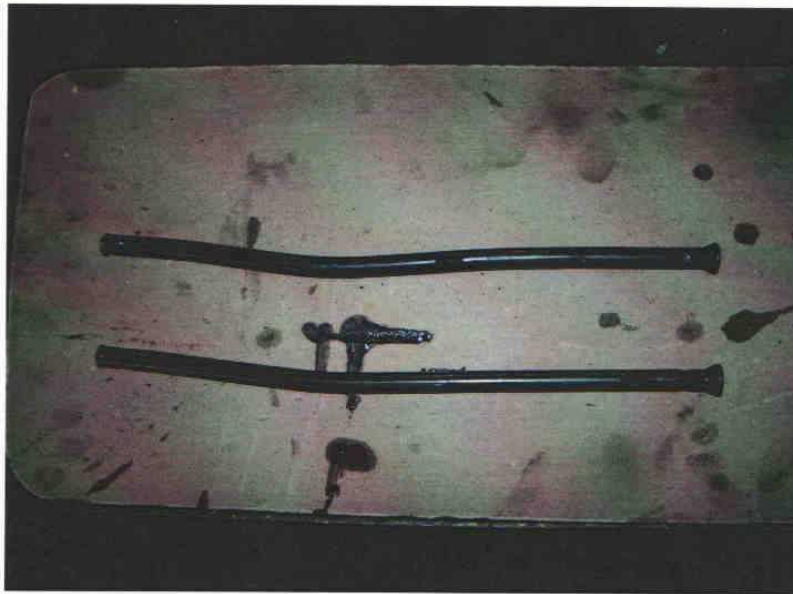


Рисунок В.11 – Поврежденные штанги толкателей (двигатель, заправленный штатным маслом)



Рисунок В.12 – Вкладыш коренного подшипника со следами задира (двигатель, заправленный штатным маслом)



Рисунок В.13 – Вкладыш шатунного подшипника (двигатель, заправленный штатным маслом)

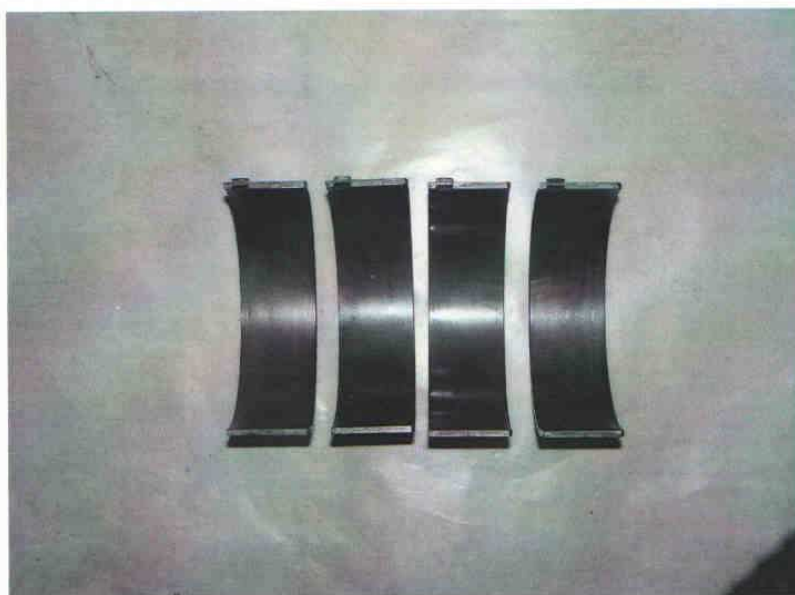


Рисунок В.14 – Вкладыши шатунных подшипников (двигатель, заправленный опытным маслом)



Рисунок В.13 – Вкладыш шатунного подшипника (двигатель, заправленный штатным маслом)

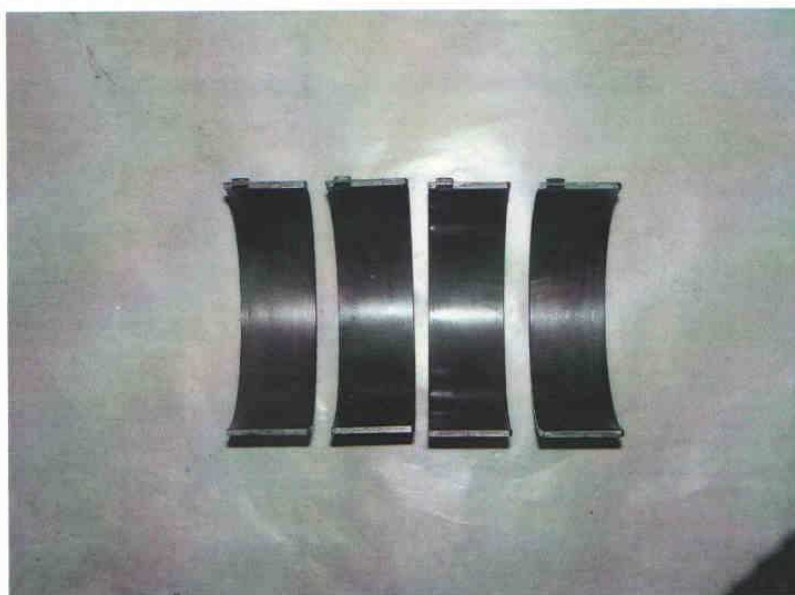


Рисунок В.14 – Вкладыши шатунных подшипников (двигатель, заправленный опытным маслом)



Рисунок В.15 – Вкладыш коренного подшипника (двигатель, заправленный штатным маслом)



Рисунок В.16 – Вкладыши коренных подшипников (двигатель, заправленный опытным маслом)

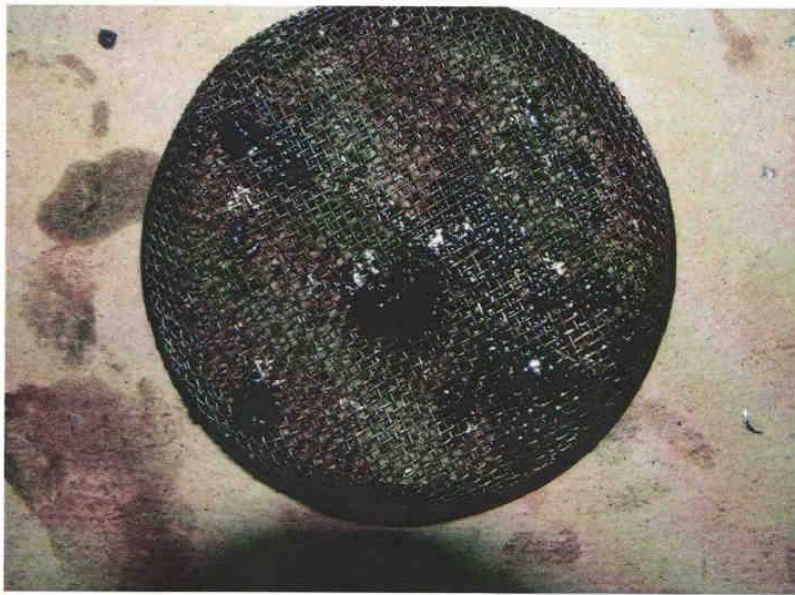


Рисунок В.17 – Сетка маслозаборника двигателя, заправленного штатным маслом



Рисунок В.18 – Сетка маслозаборника двигателя, заправленного опытным маслом

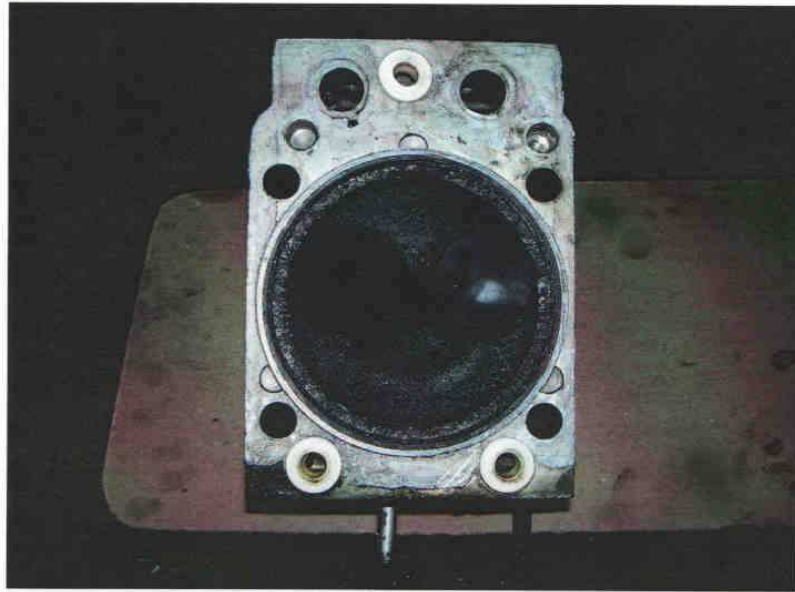


Рисунок В.19 – Огневое днище головки цилиндра двигателя, заправленного штатным маслом



Рисунок В.20 – Огневое днище головки цилиндра двигателя, заправленного опытным маслом



Рисунок В.21 – Внутренняя поверхность крышек головок цилиндров двигателя, заправленного штатным маслом



Рисунок В.22 – Внутренняя поверхность крышки головки цилиндра двигателя, заправленного опытным маслом