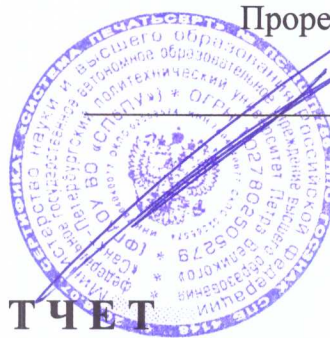


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Высшая школа энергетического машиностроения

Индекс УДК 621.43
№ государственной
регистрации _____
Инвентарный № _____



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

_____/Сергеев В.В./

«29» ноября 2019 г.

О Т Ч Е Т

о научно-исследовательской работе

Исследование свойств нанокompозита Amortect PROOF на базе моторных
стендовых испытаний дизельных и бензиновых автомобильных двигателей
(наименование темы)

Длительные ресурсные испытания нанокompозита Amortect PROOF
на бензиновом двигателе семейства ВАЗ на обкаточном стенде
(наименование отчета)

Шифр темы / № работы 143248901

Руководитель темы,
к.т.н., доц.

Шабанов А.Ю.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

Список исполнителей:

Шабанов А.Ю., к.т.н., доцент - ответственный исполнитель работы

Зайцев А.Б., к.т.н., доцент

Сидоров А.А., к.т.н., доцент

Содержание работы

	Стр.
1. Цель проведения работы	4
2. Объект исследования	4
3. Описание испытательного стенда и измерительной аппаратуры	4
4. Программа испытаний	6
5. Результаты испытаний	9
6. Выводы по результатам испытаний	27
Приложение 1	29 - 36

1. Цель проведения работы

Целью проведения настоящей работы является сравнительное экспериментальное исследование моторных и ресурсных показателей автомобильных бензиновых двигателей при работе на синтетических маслах при добавлении добавки нанокompозита Amortect PROOF в систему смазывания автомобиля

2. Объект исследований

Объектом испытаний по согласованию с Заказчиком был выбран автомобильный бензиновый двигатель семейства ВАЗ, работающий на моторном масле Castrol EDGE 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF в концентрации, рекомендованной его производителем.

3. Описание испытательного стенда и измерительной аппаратуры

Моторные испытания моторных масел проводились на испытательном стенде лаборатории ДВС Высшей школы энергетического машиностроения Института энергетики ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого».

Испытания проводились на базе быстроходных автомобильных двигателей семейства ВАЗ.

Стенд оснащен системами, обеспечивающими его функционирование при всех режимах испытаний, а также контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой, позволяющей контролировать и регистрировать все необходимые для работы и проведения исследования параметры двигателя и его систем (системы топливоподачи, охлаждения и т.д.).

Измерения токсичности отработавших газов осуществлялось лабораторным газоанализатором 'ОПТОГАЗ-1' с цифровой индикацией.

Сведения об измерительном оборудовании:

Газоанализаторы:

Измеряемый параметр	Модель, тип прибора	Диапазон измерения	Концентрация поверочного газа	Погрешность, %
Концентрация NO _x	ОПТОГАЗ 500-1	0...4500 ppm	1035 ppm	±2,0
Концентрация CO	ОПТОГАЗ 500-1	0...7500 ppm	2000 ppm	±2,5
Концентрация CO ₂	ОПТОГАЗ 500-1	0...20%	4.12%	±2,5
Концентрация O ₂	ОПТОГАЗ 500-1	0...25%	20.8%	±2,5
Концентрация CH	ОПТОГАЗ 500-1	0...1000 ppm	513 ppm	±3,0

Другие средства измерений:

Измеряемый параметр, размерность	Наименование средства измерения	Модель, №	Диапазон измерений	Погрешность
Основные показатели:				
Частота вращения, об/мин	Тахометр	ТМ и ЗД	0-8000	±10 об/мин
Мгновенный расход топлива, кг/час	Цифровой штихпроберный автоматический расходомер	Д-1	0...50	±0,5%
Средства измерения вспомогательных величин				
Температуры:				
Хладагента, град.С	Штатный датчик	-	30-140	±2,0
Смазочного масла, град.С	Термопара ХК	КСПЗ-П	0-250	±4,0
Отработанных газов, град.С	Термопара ХА	КСПЗ-П	50-850	±2,0
Температуры на всасывании, град.С	Термометр	ГОСТ 2823-73	0-50	±2,0
Топлива, град.С	Термометр	ГОСТ 18481-81	5-50	±2,0
Давления:				
Атмосферное, мм.рт.ст	Барометр	М-98	300-800	±0,2
За дроссельной заслонкой, бар	Манометр	МТИ	0-2,5	±0.02 атм
Влажности:				
Воздуха на впуске, %	Психометр	М-34	0-100	±1,0

Сведения о топливе и смазочном масле:

Топливо:	
Марка	Высокооктановый неэтилированный автомобильный бензин АИ-95-К5 ОАО «Лукойл»
Плотность по ISO 3765, кг/дм ³	0,745
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	44,2
Элементарный состав топлива (по анализу)	
С, масс.%	87,54
Н, масс.%	12,42
S, ppm	8
N, масс.%	0
O, масс.%	0,82
Смазочное масло	
Castrol EDGE 5W-30	

4. Программа испытаний

Программа ресурсных испытаний полностью соответствовала требованиям Технического задания на работу. Ниже приведено описание программы.

Цель испытаний: Оценка степени влияния нанокompозита Amortect PROOF на основные ресурсные показатели автомобильного бензинового двигателя, темп старения масла, оценку уровня низкотемпературных и высокотемпературных отложений в двигателе, а также расхода масла на угар.

Сопоставляются данные, полученные последовательно при испытаниях двигателя по двум идентичным циклам на моторном масле Castrol EDGE и на этом же масле, содержащем нанокompозит Amortect PROOF.

Сопоставлению подлежат результаты испытаний по следующим параметрам:

- усредненный расход топлива за цикл испытаний;

- мощность механических потерь (на основании замеров расхода топлива на режиме холостого хода);
- скорость износа основных сопряжений трения (вкладышей подшипников коленчатого вала и поршневых колец) по данным спектрального анализа моторного масла и прямым взвешиванием;
- газоплотность цилиндро-поршневой группы (на основании анализа изменения компрессии по цилиндрам);
- скорость старения моторного масла по данным измерения основных физико-химических показателей (кинематической вязкости, щелочного и кислотного числа, наличие мех. примесей), а также по данным спектрального анализа моторного масла (сульфотации, деградации присадок, окислению, содержанию антифриза, топлива);
- расход масла на угар;
- визуальный анализ состояния деталей двигателя до и после обработки трибосоставом, степени загрязненности рабочих полостей двигателя высоко- и низкотемпературными отложениями.

Испытания проводятся на обкаточном моторном стенде с двигателем ВАЗ.

Испытания проводятся на одном и том же двигателе сначала для моторного масла, принятого в качестве базы для сравнения; потом для того же масла, с добавлением нанокompозита Amortect PROOF, по идентичной программе:

1. Подготовка двигателя к испытаниям. Полная разборка двигателя, очистка внутренних поверхностей от отложений, взвешивание контрольных весовых элементов – всех вкладышей подшипников, поршневых колец, приемного грибка масляного насоса и маслоотделителя. Сборка двигателя, установка на стенд. Замена моторного масла и масляного фильтра, свечей зажигания. Замер компрессии по цилиндрам.

2. Пуск-прогрев двигателя, кратковременная обкатка. Замер расхода топлива и токсичности ОГ на режимах холостого хода при различных частотах вращения коленчатого вала методом выработки заданного количества бензина.

3. Нарботка на фиксированных режимах работы 120 моточасов с периодическим контрольным замером расхода топлива на режимах холостого хода и контролем полного расхода топлива, затраченного на испытания.

4. Периодический (через 5, 40, 80, 120 моточасов) отбор проб масла в объеме 200 мл для последующего анализа их физико-химических показателей, спектрального анализа, определения содержания продуктов износа.

5. По окончании наработки – замер компрессии по цилиндрам, слив масла, замер его расхода. Демонтаж двигателя со стенда, полная разборка двигателя, дефектация, визуальный анализ степени загрязненности внутренних полостей двигателя. Фотофиксация. Взвешивание контрольных весовых элементов – всех вкладышей подшипников, поршневых колец, приемного грибка масляного насоса и маслоотделителя.

6. Анализ физико-химических показателей масла (вязкость, щелочное и кислотное число, наличие механических примесей, температура вспышки в начальной и конечных пробах, содержание продуктов износа, ИК-спектроскопия проб моторного масла).

7. Обработка результатов испытаний, подготовка отчета по испытаниям.

Общая продолжительность стендовых испытаний – 250 моточасов.

5. Результаты испытаний

Задачами исследования являлись:

- подтверждение эффекта использования нанокompозита Amortect PROOF на другом типе автомобильного двигателя в сопоставлении с результатами, полученными на предыдущем этапе исследования (на двигателе ВАЗ-2112, установленном на нагрузочном стенде);
- анализ влияния нанокompозита на ресурсные показатели двигателя;
- анализ динамики изменения эффекта работы нанокompозита в течение длительного времени наработки в двигателе;
- анализ влияния нанокompозита на изменение физико-химических показателей моторного масла;
- анализ изменения уровня загрязнений внутренних поверхностей двигателя (высокотемпературных и низкотемпературных) при использовании нанокompозита Amortect PROOF.

5.1 Результаты моторной серии испытаний

В процессе проведения испытаний двигатель на испытуемых образцах моторных масел (на масле Castrol EDGE 5W-30 и этом же моторном масле, содержащем нанокompозит Amortect PROOF в концентрации, предписанной Заказчиком) отработал по заданным циклам 120 моточасов. По ходу испытаний периодически проводились замеры показателей расхода топлива и токсичности отработавших газов на режимах скоростной характеристики холостого хода в диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала в диапазоне 1000...3000 об/мин.

Результаты замеров сведены в табл. 1, 2 и проиллюстрированы графиками на рис.1...4.

В таблицах использованы следующие обозначения:

n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

G_T – часовой расход топлива;

CO – содержание окиси углерода в отработавших газах двигателя;

NO – содержание окиси азота в отработавших газах двигателя;

CH – содержание остаточных углеводородов в отработавших газах.

Начало цикла испытаний (через 3 моточаса)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,634	1,256	335	168
1500	0,928	1,188	298	187
2000	1,263	1,095	254	199
2500	1,865	1,025	225	214
3000	1,978	0,998	204	356
Среднее	1,334	1,112	263	225
Промежуточный замер (через 40 моточасов)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,628	1,248	331	172
1500	0,932	1,180	304	181
2000	1,245	1,104	250	204
2500	1,851	1,032	221	218
3000	1,984	1,004	199	364
Среднее	1,328	1,114	261	228
Промежуточный замер (через 80 моточасов)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,630	1,252	336	173
1500	0,933	1,191	290	184
2000	1,258	1,109	248	206
2500	1,874	1,029	220	220
3000	1,971	0,995	206	352
Среднее	1,333	1,115	260	227
Итоговый замер (через 120 моточасов)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,639	1,311	356	161
1500	0,940	1,210	310	172
2000	1,270	1,112	262	184
2500	1,882	1,034	233	208
3000	1,991	1,042	211	335
Среднее	1,344	1,142	274	212
В сравнении с началом цикла испытаний, %	+0,8	+2,7	+4,2	-5,8

Табл.1 Характеристика холостого хода двигателя ВАЗ при работе на базовом масле Castrol EDGE 5W-30. Длительные испытания.

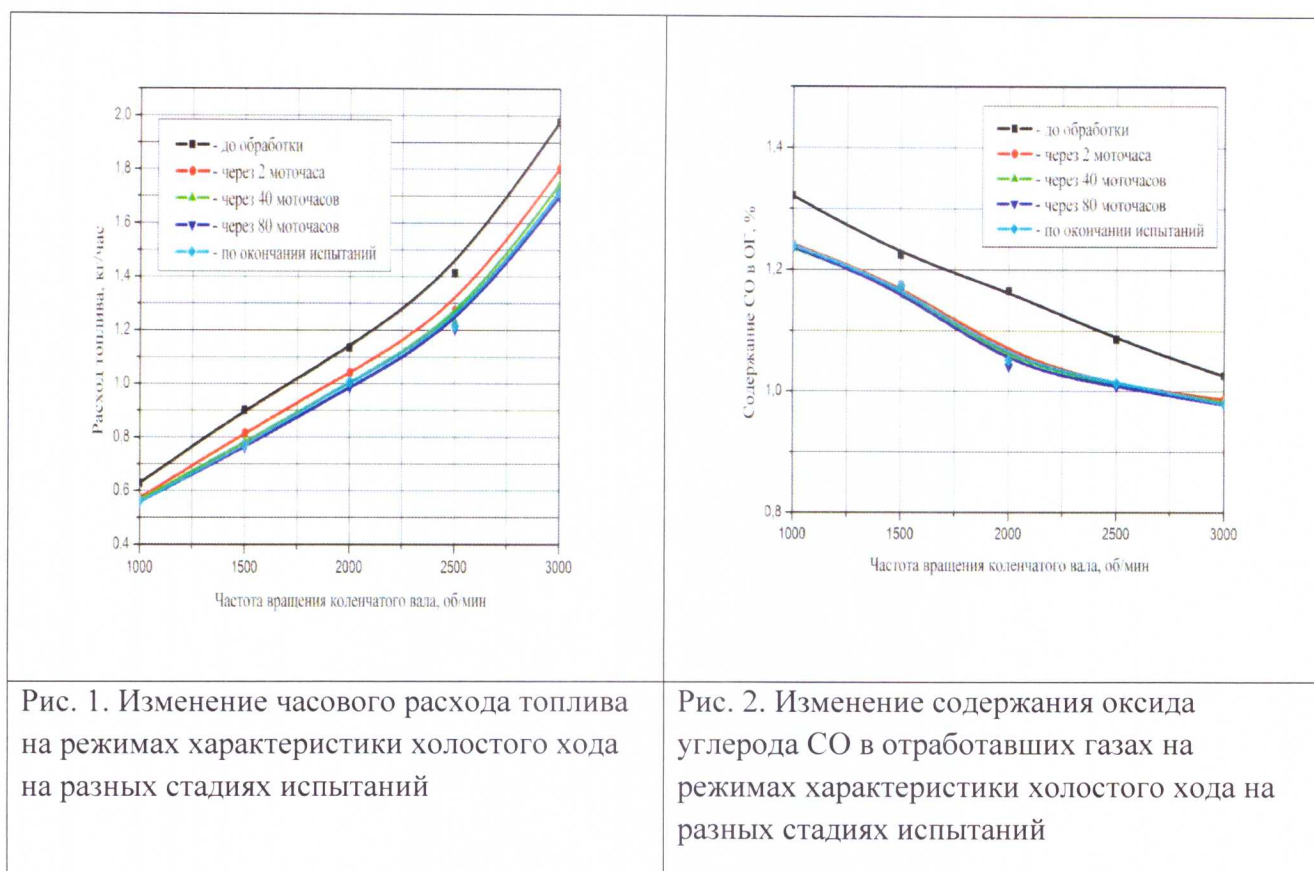
Начало цикла испытаний (до обработки)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,628	1,321	329	165
1500	0,902	1,224	288	188
2000	1,135	1,165	247	206

2500	1,414	1,086	230	207
3000	1,976	1,026	211	357
Среднее	1,211	1,164	261	225
Промежуточный замер (через 2 моточаса после обработки)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,574	1,242	321	171
1500	0,817	1,176	281	191
2000	1,042	1,061	242	201
2500	1,275	1,010	220	216
3000	1,804	0,987	203	363
Среднее	1,102	1,095	253	228
В сравнении с началом цикла испытаний (до обработки), %	-9,1	-5,9	-3,1	+1,3
Промежуточный замер (через 40 моточасов)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,565	1,235	308	171
1500	0,781	1,170	265	193
2000	1,005	1,048	231	204
2500	1,228	1,012	211	218
3000	1,745	0,982	201	367
Среднее	1,065	1,089	243	231
В сравнении с началом цикла испытаний (до обработки), %	-12,1	-6,4	-6,9	+2,7
Промежуточный замер (через 80 моточасов)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,558	1,237	304	172
1500	0,762	1,168	262	194
2000	0,987	1,041	232	202
2500	1,204	1,008	207	215
3000	1,699	0,978	198	368
Среднее	1,048	1,086	241	230
В сравнении с началом цикла испытаний (до обработки), %	-13,5	-6,7	-7,7	+2,2
Итоговый замер (через 120 моточасов)				
Частота вращения кол. вала, об/мин	Гт, кг/час	CO, %	CH, ppm	NOx, ppm
1000	0,560	1,240	311	170
1500	0,770	1,174	262	189
2000	1,007	1,052	231	199
2500	1,215	1,014	210	211
3000	1,715	0,980	201	361
Среднее	1,053	1,092	243	226
В сравнении с началом цикла испытаний (до обработки), %	-13,1	-6,2	-6,9	+0,4

Табл. 2 Характеристика холостого хода двигателя ВАЗ при работе на базовом масле Castrol EDGE Professional 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF.
Длительные испытания.

Средние данные за цикл	ge, кг/ кВтч	CO, %	CH, ppm	NO, ppm
Изменение через 120 моточасов с началом цикла, %	- 13,1	- 6,2	- 6,9	+ 0,4

Табл. 2.1 Сравнительные результаты характеристики холостого хода двигателя ВАЗ на базовом масле Castrol EDGE Professional 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF. Длительные испытания.



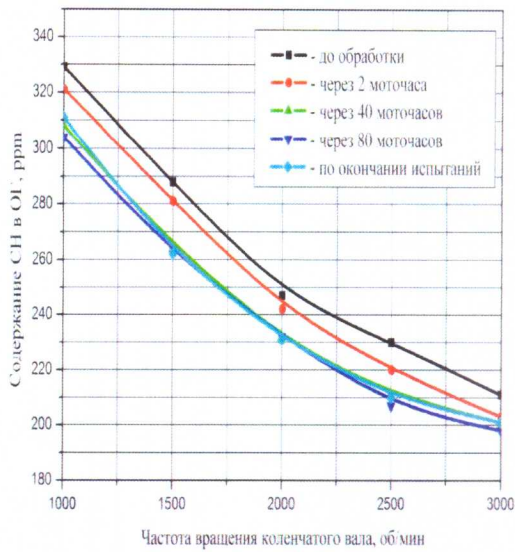


Рис.3. Изменение содержания остаточных углеводородов СН в отработавших газах на режимах характеристики холостого хода на разных стадиях испытаний

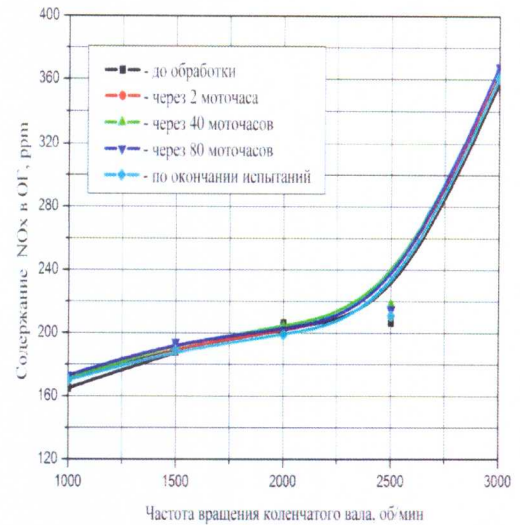


Рис. 4 . Изменение содержания оксидов азота NOx в отработавших газах на режимах характеристики холостого хода на разных стадиях испытаний

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

- Результаты испытаний подтвердили полученные на предыдущем этапе испытаний данные о снижении расхода топлива и механических потерь. При этом максимальный эффект снижения расхода топлива на режимах скоростной характеристики холостого хода составил 13,1%;

- Наблюдается определенная динамика изменения эффекта обработки по времени работы нанокompозита в двигателе. После ввода нанокompозита в двигатель наблюдается определенный рост эффекта, по истечении определенного времени эффект стабилизируется. Так, максимальный эффект достигается при наработке нанокompозита в масле порядка 70...80 моточасов. После этого, при продолжении наработки, наблюдается некоторое снижение эффекта. Очевидно, что эта динамика и величина максимального эффекта является сугубо индивидуальной и будет зависеть как от исходного состояния двигателя, так и от концентрации ввода нанокompозита, вязкости масла, в которое вводится нанокompозит, режимов работы двигателя;

- Наблюдается определенное снижение токсичности отработавших газов по компонентам CO и CH (в среднем – на 6...7%). Изменение содержания оксидов азота в течение всего цикла испытаний практически отсутствует (лежит в пределах погрешности измерения).

5.2 Результаты замеров расхода масла на угар.

Расход масла на угар определялся методом «на слив» при каждом отборе проб масла (через 40, 80, 120 моточасов). Результаты сведены в табл. 3.

Из полученных данных видно, что с учетом погрешности измерения, оба образца масла показали близкие результаты.

Этап испытаний	Моторное масло Castrol EDGE 5W-30			Моторное масло Castrol EDGE 5W-30 с Amortect PROOF			Изменение расхода масла на угар, %
	Залито, л	Сливо, л	Угар, л	Залито, л	Сливо, л	Угар, л	
Начало	3,50			3,50			-
40 моточасов	3,50	3,35	0,15	3,50	3,35	0,15	0
80 моточасов	3,15	2,95	0,20	3,15	3,00	0,15	25
120 моточасов	2,75	2,40	0,35	2,80	2,55	0,25	28,5
За цикл испытаний			0,70			0,55	21,4

Табл. 3 Динамика изменения расхода масла на угар в процессе длительных испытаний моторных масел

В целом, наметилась определенная тенденция снижения расхода масла на угар после ввода в двигатель нанокompозита Amortect PROOF. Можно предположить, что этот результат объясняется улучшением подвижности поршневых колец из-за меньшего уровня высокотемпературных отложений на боковых поверхностях поршней, особенно в зоне канавок для поршневых колец, а также частичным восстановлением рабочей поверхности цилиндров. Это подтверждается результатами визуального анализа состояния деталей двигателя после

длительной работы двигателя на моторном масле, содержащем нанокompозит (см. ниже).

5.3 Визуальный анализ состояния двигателей по окончании длительных испытаний.

По окончании испытаний двигатели были демонтированы со стенда, разобраны и продиагностированы. **Каких-либо замечаний к техническому состоянию двигателей по окончании цикла моторных испытаний всех масел отмечено не было.**

Фотоотчет по результатам визуальной диагностики двигателя приведен в Приложении 1.

5.4 Результаты измерения параметров герметичности цилиндро-поршневой группы двигателей по итогам испытаний.

Замеры компрессии в цилиндрах двигателей проводились по окончании обкатки каждого двигателя и по завершении цикла испытаний.

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. 4.

Этап испытаний	1-й цилиндр	2-й цилиндр	3-й цилиндр	4-й цилиндр
Длительные испытания на моторном масле Castrol EDGE				
На начало испытаний	11,6	12,5	12,2	11,8
По окончании испытаний	11,6	12,3	12,1	11,9
Длительные испытания на моторном масле Castrol EDGE с Amortect PROOF				
На начало испытаний	11,8	12,3	12,0	11,7
По окончании испытаний	12,1	12,4	12,2	11,9

Табл. 4 Данные замера компрессии по цилиндрам в процессе длительных стендовых испытаний моторных масел нанокompозита Amortect PROOF

Полученные данные позволяют предварительно судить о степени изношенности двигателей после проведения длительных испытаний, и, следовательно, об уровне защитных свойств масел. **Из анализа полученных данных следует, что подтверждается результат, полученный на предыдущих этапах испытаний, о благоприятном влиянии нанокompозита Amortect PROOF на степень герметичности цилиндропоршневой группы двигателей.** Так, если после испытаний базового двигателя (без использования нанокompозита) была отмечена небольшая тенденция снижения компрессии, то **в результате длительных испытаний двигателя при работе на масле с нанокompозитом четко выражена обратная тенденция – роста компрессии.** В целом, этот результат отчасти объясняется исходным исправным состоянием двигателей, прошедших разборку и дефектацию перед испытаниями. В реальной эксплуатации этот эффект может быть существенно выше, особенно при обработке двигателей со средней и большой степенью износа и загрязнения.

5.5 Оценка уровня низкотемпературных отложений в двигателе после длительных испытаний образцов моторных масел.

Уровень низкотемпературных отложений в двигателе оценивался по изменению массы контрольных весовых элементов – маслоотражателя, установленного в клапанной крышке, и маслоприемника масляного насоса, установленного в картере двигателя (рис.5). Взвешивание контрольных весовых элементов проводилось на высокоточных аналитических весах (точность измерения – 0.0001 г). Данные взвешивания контрольных весовых элементов сведены в **табл.5.**



Рис.5. Контрольные весовые элементы

Базовый цикл испытаний на моторном масле Castrol EDGE 5W-30			
	До, г	После, г	Изменение, мг
Маслоотражатель	113,440	113,561	121
Маслозаборник	235,042	235,327	285
Испытания на моторном масле Castrol EDGE 5W-30 с нанокompозитом Amortect PROOF			
	До, г	После, г	Изменение, мг
Маслоотражатель	113,551	113,669	118
Маслозаборник	236,115	236,406	291

Табл. 5 Оценка массы низкотемпературных отложений на основе анализа изменения массы контрольных весовых элементов после длительных испытаний моторных масел

Данные замеров показывают достаточно низкую склонность к отложениям, зафиксированную в обоих циклах испытаний. Подобные результаты характерны для качественных синтетических масел групп качества по API SN/CF. При этом ввод нанокompозита Amortect PROOF, как свидетельствуют и результаты взвешивания контрольных весовых элементов, так и визуального анализа, практически не повлиял на уровень низкотемпературных отложений в двигателе.

Поскольку именно низкотемпературные отложения в максимальной степени влияют на загрязнение и, следовательно, ресурс масляного фильтра, с высокой степенью достоверности можно предположить отсутствие отрицательного влияния обработки двигателя нанокompозитом на срок службы фильтрующего элемента системы смазывания двигателя.

5.6 Оценка уровня высокотемпературных отложений в двигателе после длительных испытаний двигателей

Оценка уровня высокотемпературных отложений проводилась на основании визуального анализа уровня загрязненности боковой поверхности поршней двигателя. Оценка производилась группой экспертов с использованием шкалы, аналогичной шкале метода ПЗВ (ГОСТ 5726-2013). В шкале принято – 0 баллов – чистый поршень, 6 баллов – полностью загрязненный. Фототаблица с фотографиями поршней двигателей, прошедших циклы длительных испытаний моторных масел, приведена ниже (рис. 6...13) и в Приложении 1.

Баллы экспертных оценок уровня высокотемпературных отложений сведены в **табл. 6**

Цикл испытаний	Отложения на поршнях, баллов, цилиндра номер:				Средний балл
	1	2	3	4	
Базовый цикл испытаний на масле Castrol EDGE 5W-30	0,5	1,0	1,5	1,5	1,13
Цикл испытаний на масле Castrol EDGE 5W-30 с нанокompозитом Amortect PROOF	0,5	0,5	0,5	1,0	0,63
Изменение базового цикла Castrol EDGE 5W-30 с циклом испытания с нанокompозитом Amortect PROOF, %	0	-50,0	-66,7	-33,3	-44,3

Табл.6 Баллы высокотемпературных отложений (ВТО), зафиксированные по итогам длительных моторных испытаний



Рис.6. Внешний вид боковой поверхности поршня первого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

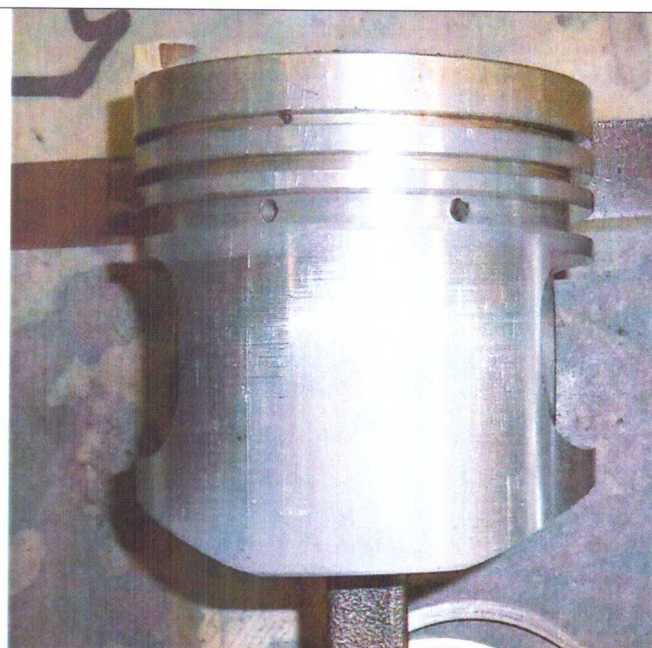


Рис. 7. Внешний вид боковой поверхности поршня первого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

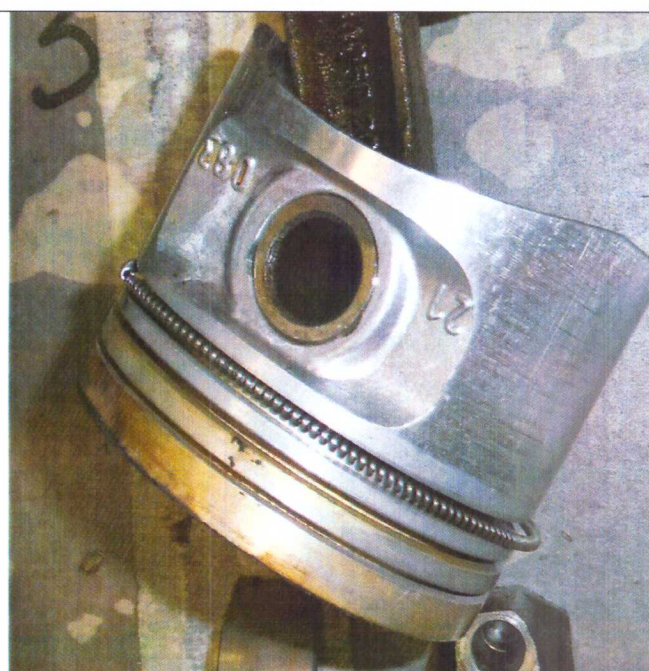


Рис.8. Внешний вид боковой поверхности поршня второго цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

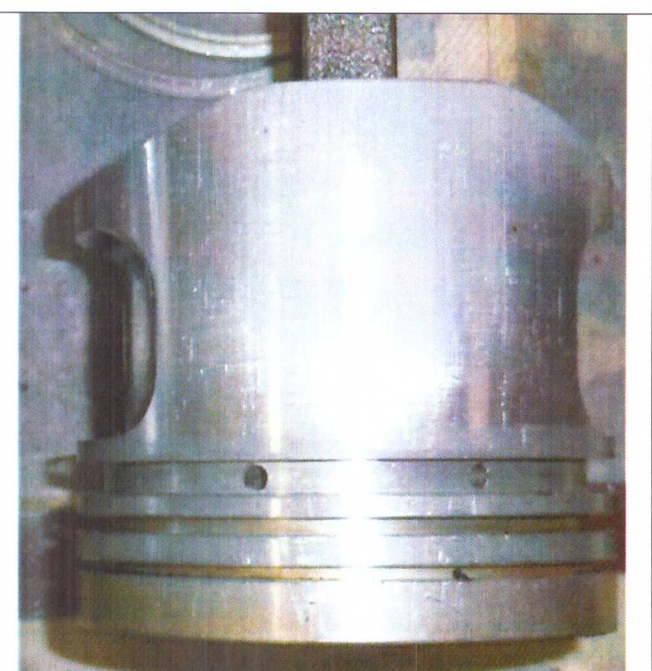


Рис. 9. Внешний вид боковой поверхности поршня второго цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

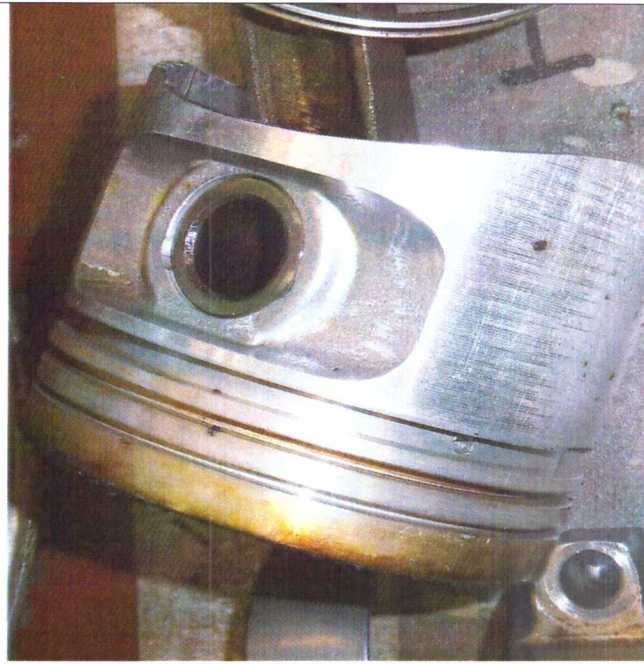


Рис.10. Внешний вид боковой поверхности поршня третьего цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

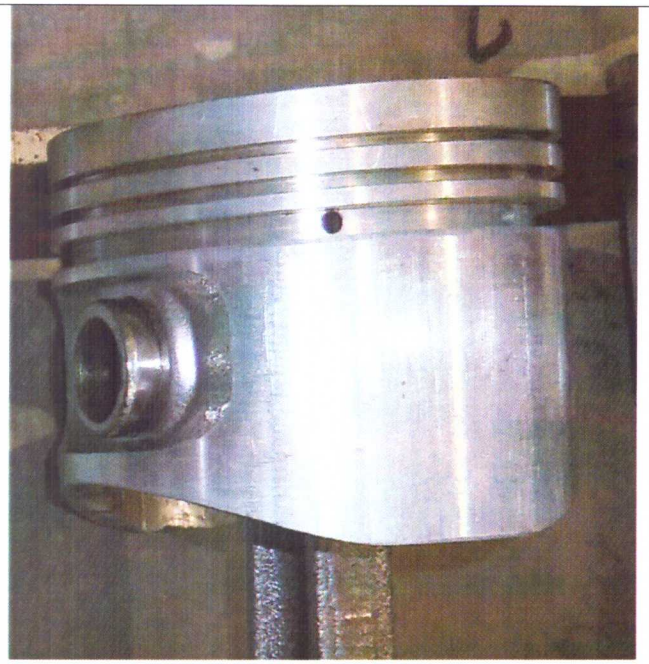


Рис.11. Внешний вид боковой поверхности поршня третьего цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

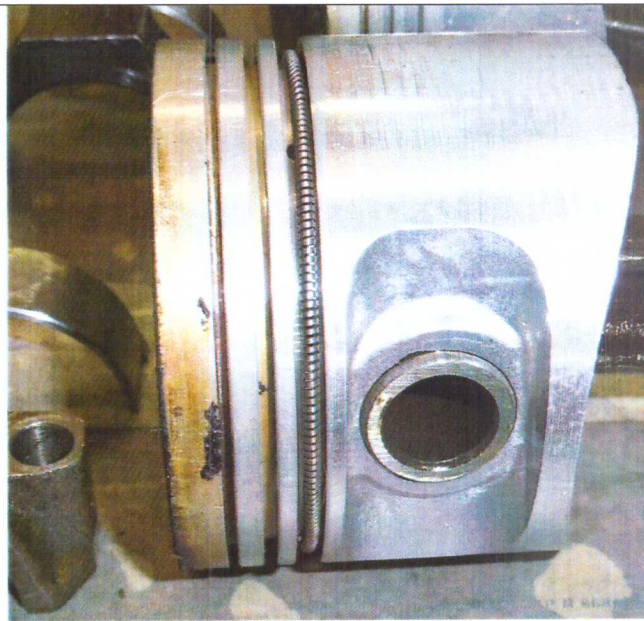


Рис.12. Внешний вид боковой поверхности поршня четвертого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

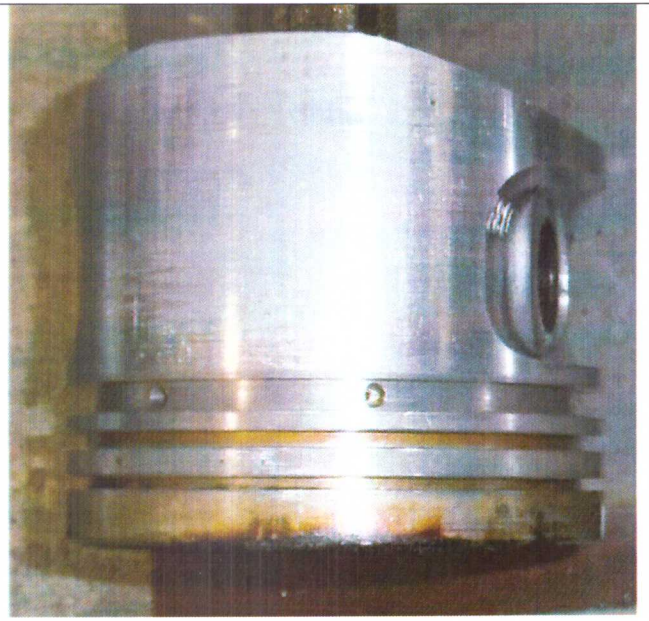


Рис. 13. Внешний вид боковой поверхности поршня четвертого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

Анализ полученных данных также подтверждает высокие моющие свойства обоих вариантов испытанных моторных масел. **Аналогично результатам, полученным при анализе низкотемпературных отложений, наглядно видно, что ввод нанокompозита Amortect PROOF заметно снизил уровень высокотемпературных отложений в двигателе.**

Этот результат коррелирует с данными по измерению величины угара масла в цилиндрах и параметров герметичности цилиндропоршневой группы (компрессии). Как отмечалось выше, снижение угара масла и рост компрессии может быть объяснен улучшением работы поршневых колец, отчасти из-за улучшения их подвижности, которой мешают высокотемпературные отложения в зоне уплотнения.

5.7 Оценка уровня износов основных деталей двигателей после длительных испытаний

Оценка уровня износов деталей двигателя, образующих основные пары трения (вкладышей подшипников и поршневых колец), должна была проиллюстрировать сравнительную степень защитных свойств моторных масел (базового Castrol EDGE и этого же масла с добавлением нанокompозита Amortect PROOF).

Оценка уровня износа производилась на основании результатов точного взвешивания всех вкладышей подшипников коленчатого вала и поршневых колец двигателей. Перед взвешиванием ко всем деталям применялась предписанная методикой испытаний процедура очистки и сушки.

Результаты весового анализа износа деталей сведены в **табл. 7, 8.**

Табл.7 Результаты взвешивания контрольных деталей двигателя до и после длительных испытаний двигателя на моторном масле Castrol EDGE 5W-30.
Все значения приведены в граммах.

Таблица 7-1 Массы коренных вкладышей

Блок(до), г	Блок(после), г	Изменение, мг	Крышка(до),г	Крышка(после), г	Изменение, мг
19,298	19,294	4	21,687	21,677	10
19,048	19,043	5	21,536	21,524	12
19,159	19,155	4	21,885	21,875	10
19,345	19,339	6	21,647	21,638	9
19,297	19,292	5	21,760	21,749	11
Изменение массы по коренным вкладышам: верхним – 4,80 мг, нижним – 10,40 мг					

Таблица 7-2 Массы шатунных вкладышей

Шатун(до), г	Шатун(после), г	Изменение, мг	Крышка(до), г	Крышка(после), г	Изменение, мг
20,277	20,262	15	20,789	20,781	8
20,129	20,116	13	20,567	20,560	7
20,327	20,316	11	20,180	20,171	9
20,446	20,432	14	20,469	20,459	10
Изменение массы по шатунным вкладышам: верхним – 13,25 мг, нижним – 8,50 мг					

Таблица 7-3.1 Массы поршневых колец(до), г

	1	2	3	4
1-ое поршневое	7,069	7,195	7,259	7,360
2-ое поршневое	10,159	10,088	10,366	10,190
Маслосъемное	9,679	9,590	9,890	9,728

Таблица 7-3.2 Массы поршневых колец(после), г

	1	2	3	4
1-ое поршневое	7,056	7,185	7,243	7,348
2-ое поршневое	10,145	10,076	10,348	10,176
Маслосъемное	9,669	9,581	9,881	9,717

Таблица 7-3.3 Изменение массы поршневых колец, мг

	1	2	3	4	Среднее по комплекту
1-ое поршневое	13	10	16	12	12,75
2-ое поршневое	14	12	18	14	14,50
Маслосъемное	10	9	9	11	9,75

Табл. 8 Результаты взвешивания контрольных деталей двигателя до и после длительных испытаний на моторном масле Castrol EDGE 5W-30 с нанокompозитом Amortect PROOF. Все значения приведены в граммах.

Таблица 8- 1 Массы коренных вкладышей

Блок(до), г	Блок(после), г	Изменение, мг	Крышка(до),г	Крышка(после), г	Изменение, мг
19,294	19,292	2	21,677	21,669	8
19,043	19,039	4	21,524	21,514	10
19,155	19,152	3	21,875	21,867	8
19,339	19,337	2	21,638	21,630	8
19,292	19,288	4	21,749	21,742	7
Изменение массы по коренным вкладышам: верхним – 3,00 мг, нижним – 8,20 мг					

Таблица 8-2 Массы шатунных вкладышей

Шатун(до), г	Шатун(после), г	Изменение, мг	Крышка(до), г	Крышка(после), г	Изменение, мг
20,262	20,252	10	20,781	20,774	7
20,116	20,104	12	20,560	20,554	6
20,316	20,306	10	20,171	20,166	5
20,432	20,421	11	20,459	20,450	9
Изменение массы по шатунным вкладышам: верхним – 10,75 мг, нижним – 6,75 мг					

Таблица 8-3.1 Массы поршневых колец(до), г

	1	2	3	4
1-ое поршневое	7,056	7,185	7,243	7,348
2-ое поршневое	10,145	10,076	10,348	10,176
Маслосъемное	9,669	9,581	9,881	9,717

Таблица 8-3.2 Массы поршневых колец(после), г

	1	2	3	4
1-ое поршневое	7,045	7,175	7,230	7,338
2-ое поршневое	10,133	10,064	10,338	10,164
Маслосъемное	9,661	9,573	9,872	9,707

Таблица 8-3.3 Изменение массы поршневых колец, мг

	1	2	3	4	Среднее по комплекту
1-ое поршневое	11	10	13	10	11,00
2-ое поршневое	12	12	10	12	11,50
Маслосъемное	8	8	9	10	8,75

В таблице 9 приведены сводные данные по средним потерям массы контрольных деталей по итогу обоих циклов длительных испытаний.

Стадия испытаний	Потеря массы средняя, мг						
	Шатунные вкладыши		Коренные вкладыши		Поршневые кольца		
	Нижние	Верхние	Нижние	Верхние	1	2	3
На масле Castrol EDGE 5W-30	8,5	13,3	10,4	4,8	12,8	14,5	9,8
На масле Castrol EDGE 5W-30 с Amortect PROOF	6,8	10,8	8,2	3,0	11,0	11,5	8,8
Изменение относительно базы, %	-20,0	-18,8	-21,2	-37,5	-14,1	-20,7	-10,2

Табл.9 Усредненные потери массы контрольных деталей за цикл длительных испытаний двигателя

Из результатов этого фрагмента работы следует, что добавка к моторному маслу нанокompозита Amortect PROOF заметно повышает защитные функции моторного масла, что проявляется в снижении темпа износа узлов трения двигателя на 10...38% в зависимости от группы деталей.

Эти данные подтверждаются анализом содержания продуктов износа в промежуточных и итоговых пробах масла, отобранных на разных стадиях испытаний. Эти данные сведены в **табл. 10**.

№	Металл	Содержание продуктов износа и активных элементов в моторном масле, мг						В сравнении с базовым циклом через 120 мч, %
		Базовый цикл на масле Castrol EDGE 5W-30			Цикл на масле Castrol EDGE с Amortect PROOF			
		Через 40 мч	Через 80 мч	Через 120 мч	Через 40 мч	Через 80 мч	Через 120 мч	
1	Железо	6	13	20	5	11	17	-15,0
2	Алюминий	3	6	10	3	5	8	-20,0
3	Кремний	2	3	5	2	3	4	-20,0

4	Олово	3	5	8	2	4	7	-12,5
5	Хром	1	2	3	1	1	2	-33,3
6	Кальций	2778	2612	2534	2795	2685	2612	+3,1
7	Цинк	1097	956	902	1124	997	915	+1,4
8	Фосфор	998	942	889	1021	953	905	+1,8

Табл. 10 Содержание продуктов износа и активных элементов в пробах моторного масла, отобранных на разных стадиях испытаний

Можно предположить, что полученный результат является следствием общего повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей узлов трения, а также улучшением условий их смазывания из-за улучшения гидродинамического качества поверхностей.

5.9 Результаты анализа физико-химических параметров образцов моторных масел

Пробы масел отбирались на следующих этапах испытаний:

- проба 1 – после 3 моточасов испытаний;
- проба 2 – после 40 моточасов от начала испытаний;
- проба 3 – после 80 моточасов от начала испытаний;
- проба 4 – по окончании испытаний, через 120 моточасов.

Проба отбиралась путем полного слива масла из двигателя непосредственно после его остановки.

Анализ физико-химических показателей моторных масел, кроме определения высокотемпературной вязкости, проводился в аккредитованной лаборатории.

Сводные таблицы результатов определения физико-химических параметров проб масел приведены ниже (табл. 11, 12).

№	Физико-химический параметр	Метод определения	Номер пробы			
			1 (через 3 мч)	2 (через 40 мч)	3 (через 80 мч)	4 (через 120 мч)
1	Кинематическая вязкость при 40°C, мм ² /с	ГОСТ 33	68,2	66,8	65,6	69,4
2	Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	ГОСТ 33	11,5	11,2	11,0	11,6
3	Кинематическая вязкость при 150°C, мм ² /с	Методика СПБПУ	4,81	4,68	4,60	4,84
4	Индекс вязкости, ед.	ГОСТ 25371	164	161	160	162
5	Щелочное число, мг КОН/г	ASTM D 2896	8,6	8,4	8,1	7,6
6	Кислотное число, мг КОН/г	ASTM D 664	2,2	2,3	2,5	2,7
7	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	ГОСТ 6356	235	232	228	230
8	ИК-спектрометрия с Фурье-преобразованием:	ASTM D 2412				
	Нагар, А/0.1 мм			0,00	0,00	0.01
	Продукты окисления, А/0.1 мм			0,01	0,02	0.04
	Продукты нитрования, А/0.1 мм			0,01	0,03	0.06
	Продукты сульфотации, А/0.1 мм			0,01	0,01	0.02
	Деградация антифрикционной присадки, А/0.1 мм			0,01	0,02	0.04
	Присутствие топлива или легких топливных фракций, %			Отс.	Отс.	Отс.
	Присутствие воды, %			Отс.	Отс.	Отс.
	Содержание антифриза, %			Отс.	Отс.	Отс.

Табл.11 Изменение основных физико-химических параметров моторного масла Castrol EDGE 5W-30 в процессе длительных испытаний

№	Физико-химический параметр	Метод определения	Номер пробы				В сравнении с базовым изменением Castrol EDGE 5W-30 через 120 мч, %
			1 (через 3 мч)	2 (через 40 мч)	3 (через 80 мч)	4 (через 120 мч)	
1	Кинематическая вязкость при 40°C, мм ² /с	ГОСТ 33	69,4	67,3	66,1	69,6	+0,3
2	Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	ГОСТ 33	11,7	11,4	11,2	11,5	-0,9
3	Кинематическая вязкость при 150°C, мм ² /с	Методика СПБПУ	4,89	4,78	4,70	4,78	-1,2
4	Индекс вязкости, ед.	ГОСТ 25371	165	164	163	160	-1,2
5	Щелочное число, мг КОН/г	ASTM D 2896	8,5	8,4	8,2	7,7	+1,3
6	Кислотное число, мг КОН/г	ASTM D 664	2,2	2,4	2,6	2,7	0
7	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	ГОСТ 6356	234	230	228	231	+0,4

8	ИК-спектрометрия с Фурье-преобразованием:	ASTM D 2412					
	Нагар, А/0.1 мм			0,00	0,00	0.01	0
	Продукты окисления, А/0.1 мм			0,01	0,03	0.04	0
	Продукты нитрования, А/0.1 мм			0,01	0,02	0.06	0
	Продукты сульфотации, А/0.1 мм			0,01	0,01	0.02	0
	Деградация антифрикционной присадки, А/0.1 мм			0,01	0,02	0.04	0
	Присутствие топлива или легких топливных фракций, %			Отс.	Отс.	Отс.	-
	Присутствие воды, %			Отс.	Отс.	Отс.	-
	Содержание антифриза, %			Отс.	Отс.	Отс.	-

Табл.12 Изменение основных физико-химических параметров моторного масла Castrol EDGE 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF в процессе длительных испытаний

Анализ представленных данных показывает, что ввод нанокompозита Amortect PROOF в моторное масло значимым образом не влияет на его базовые физико-химические параметры.

6. Выводы по результатам испытаний

Полная совокупность данных, полученных по итогам проведенного исследования, позволяет сделать следующие выводы:

- Подтверждается информация, полученная на предыдущих этапах исследования о том, что использование нанокompозита Amortect PROOF в качестве добавки к моторному маслу приводит к существенному улучшению технико-экономических и ресурсных показателей автомобильных бензиновых двигателей. Эффекты выражаются в снижении расхода топлива и механических потерь, а также существенном уменьшении скоростей износа (до 10...38% в зависимости от вида узла трения);
- Была выявлена динамика изменения параметров двигателя в процессе длительной работы после его обработки нанокompозитом Amortect PROOF. Так, на начальном этапе работы двигателя в присутствии

нанокompозита наблюдается рост эффекта обработки, впоследствии он стабилизируется. На финишном этапе испытаний (после 80 моточасов) начала наблюдаться незначительная тенденция снижения эффекта обработки. Вероятно, на этом участке может быть рекомендована повторная обработки двигателя;

- Длительная работа нанокompозита в двигателе не привела к увеличению уровня загрязнений двигателя низко- и высокотемпературными отложениями. Более того, наблюдалось некоторое снижение степени загрязнённости двигателя высокотемпературными отложениями после длительного цикла испытаний на моторном масле, содержащем нанокompозит Amortect PROOF. Полученный результат свидетельствует об отсутствии влияния нанокompозита на ресурс масляного фильтра;

- Существенного влияния нанокompозита Amortect PROOF на базовые свойства моторного масла, в которое он вводится, не выявлено.

Литература:

1. Шабанов А.Ю., Зайцев А.Б., Кудинов И.С., Метелев А.А. Влияние некоторых физико-химических показателей моторного масла на технико-экономические и ресурсные показатели поршневых бензиновых двигателей/ Двигателестроение, 2011. № 1. – с. 24-28
2. Шабанов А.Ю., Зайцев А.Б., Кудинов И.С. Метод подбора оптимальной вязкостно-температурной характеристики смазочного масла для поршневого четырехтактного двигателя внутреннего сгорания/ Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2011. № 1 (117). – с. 95-100

ПРИЛОЖЕНИЕ №1

Фотоотчет по результатам испытаний

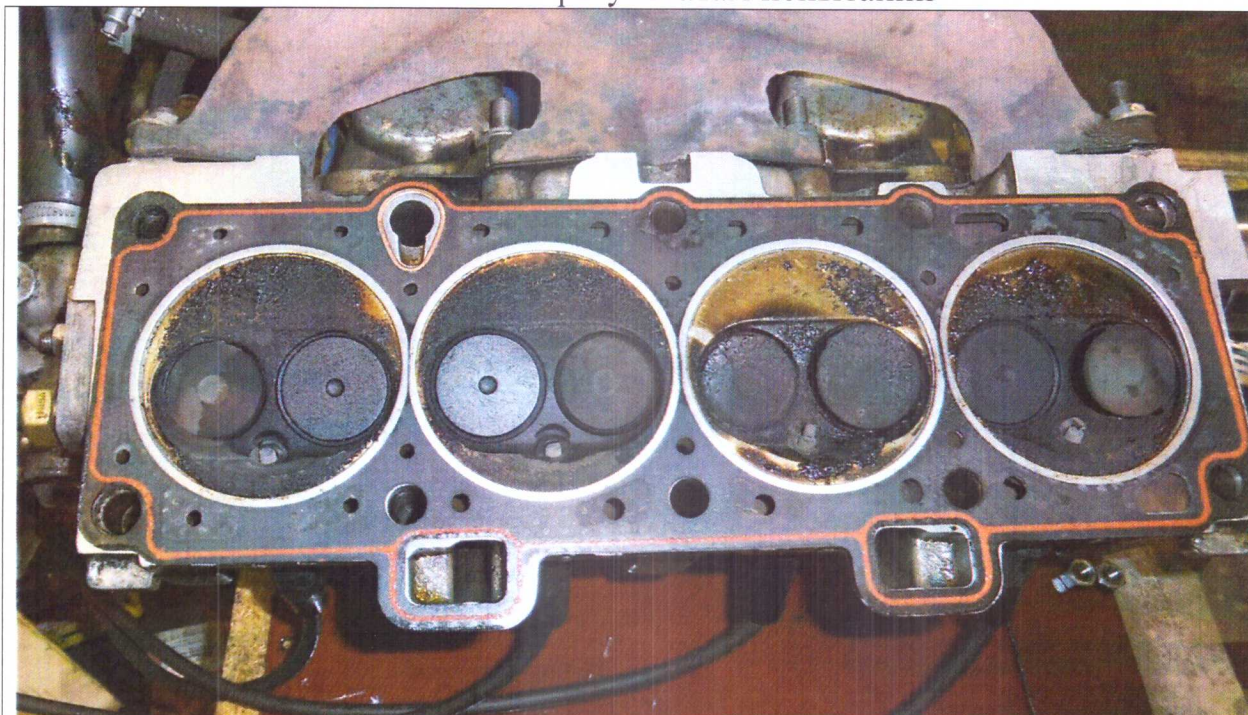


Рис.П1-1. Внешний вид нижней плиты головки цилиндров по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

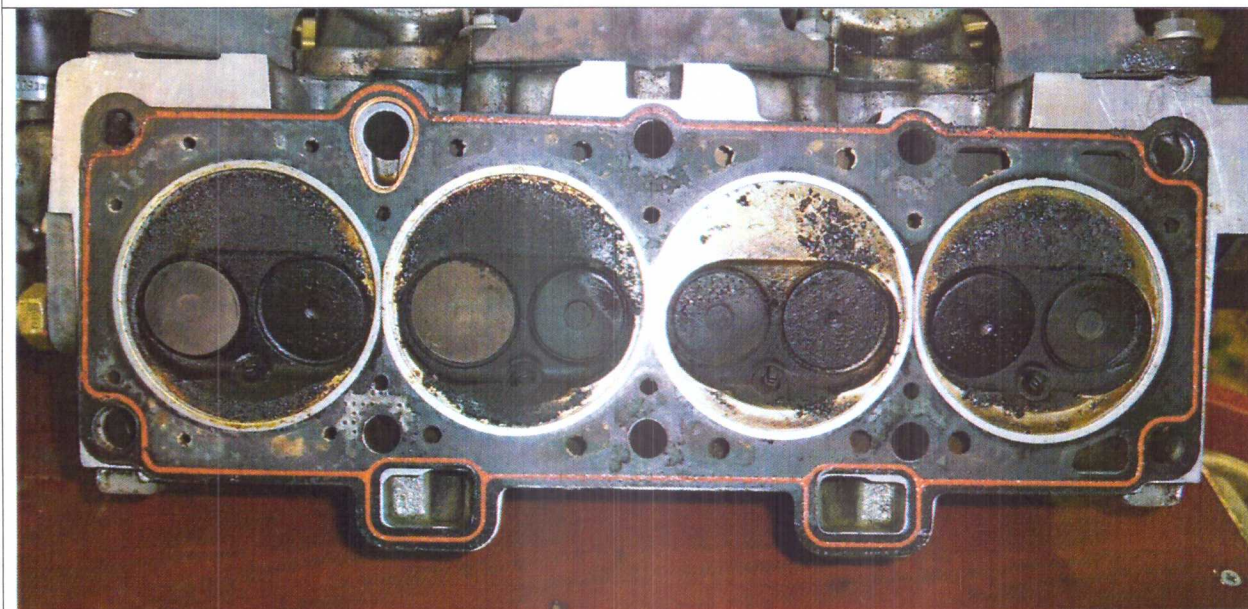


Рис. П1-2. Внешний вид нижней плиты головки цилиндров по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

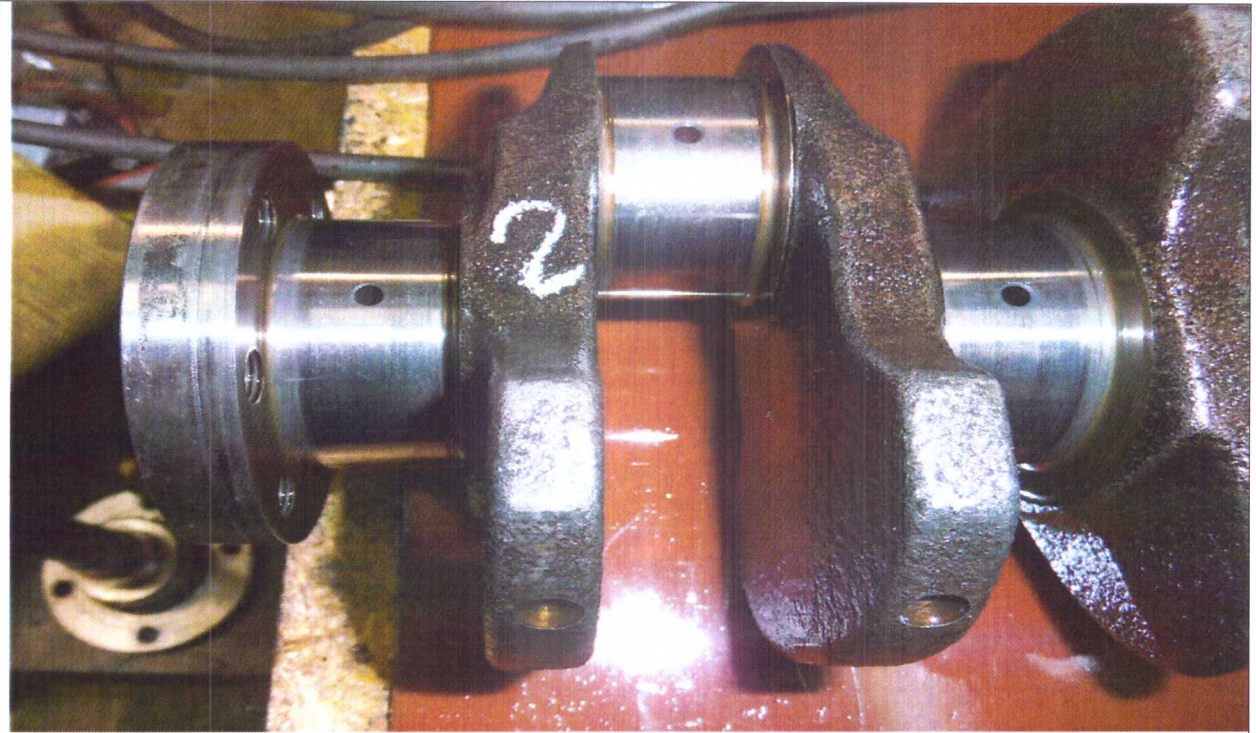


Рис.П1-3. Внешний вид шеек коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

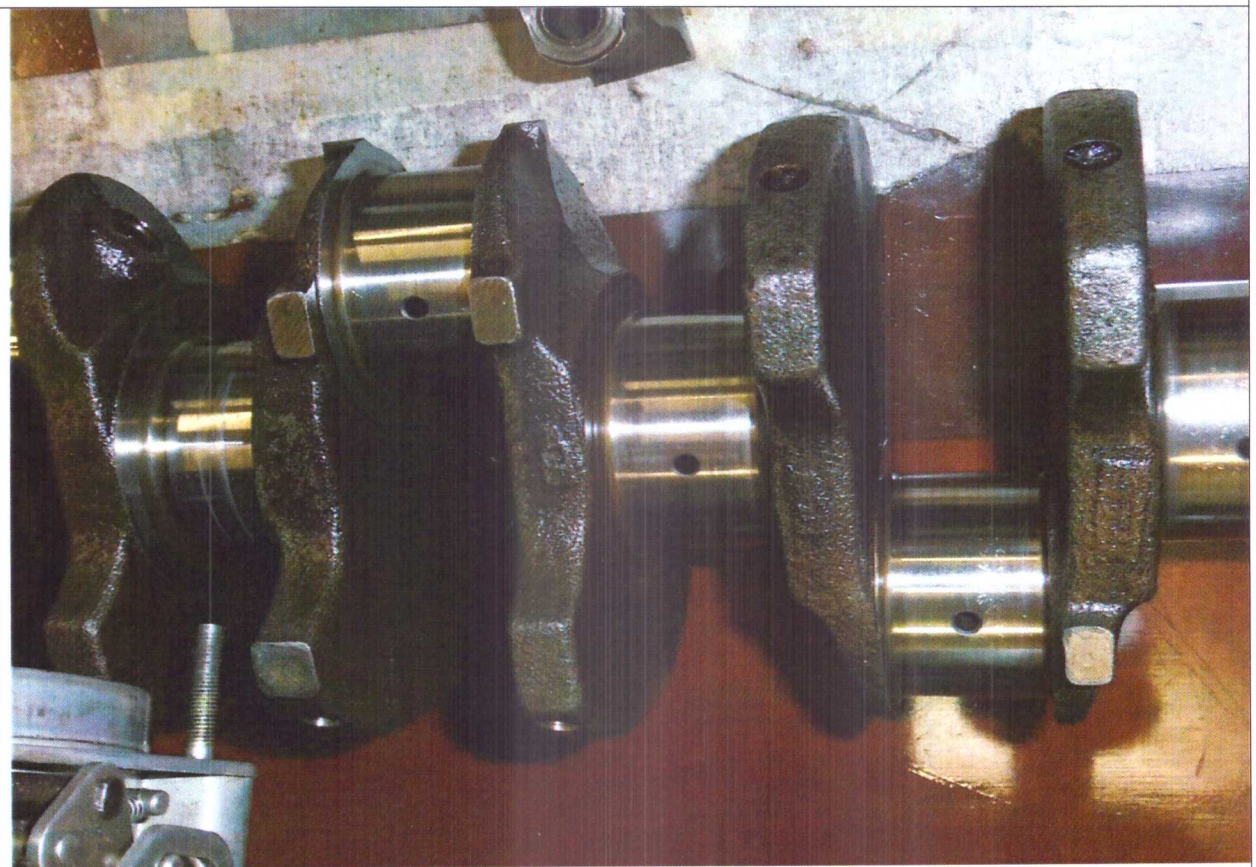


Рис. П1-4. Внешний вид шеек коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

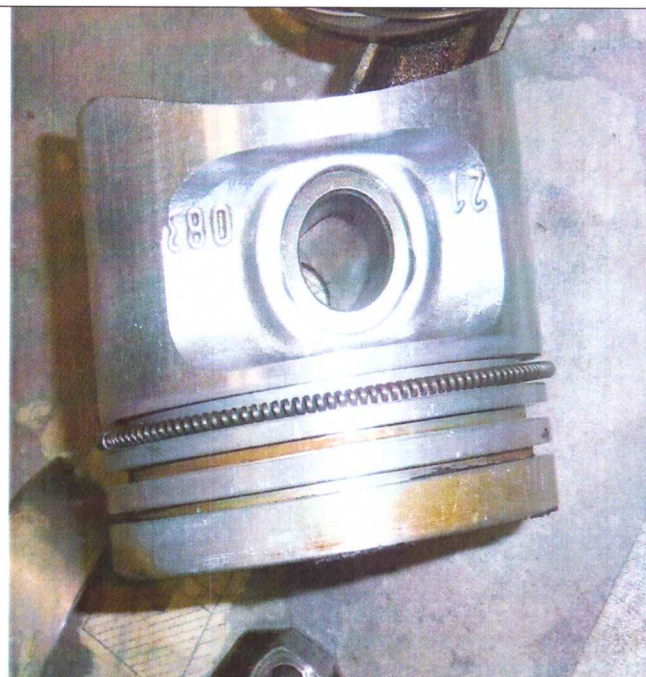


Рис.П1-5. Внешний вид боковой поверхности поршня первого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

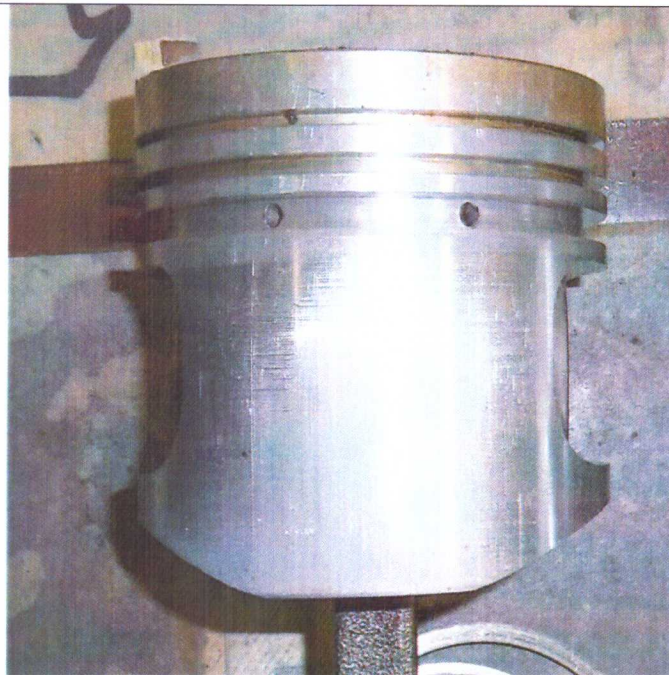


Рис. П1-6. Внешний вид боковой поверхности поршня первого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

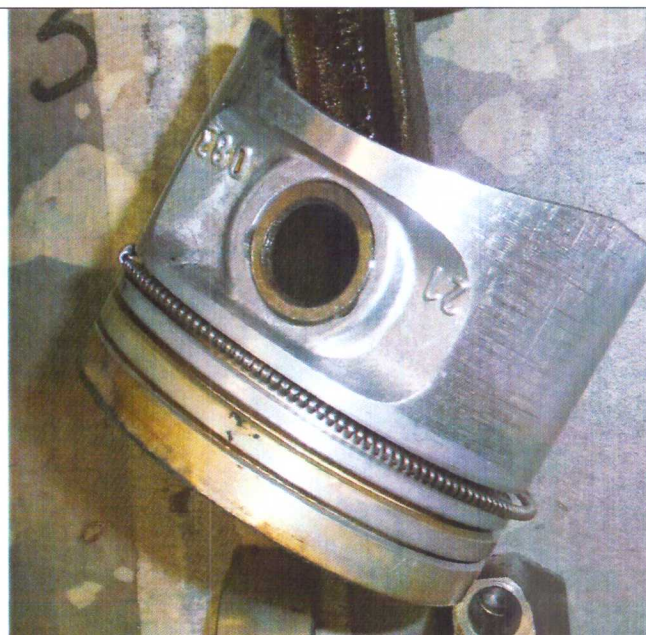


Рис.П1-7. Внешний вид боковой поверхности поршня второго цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

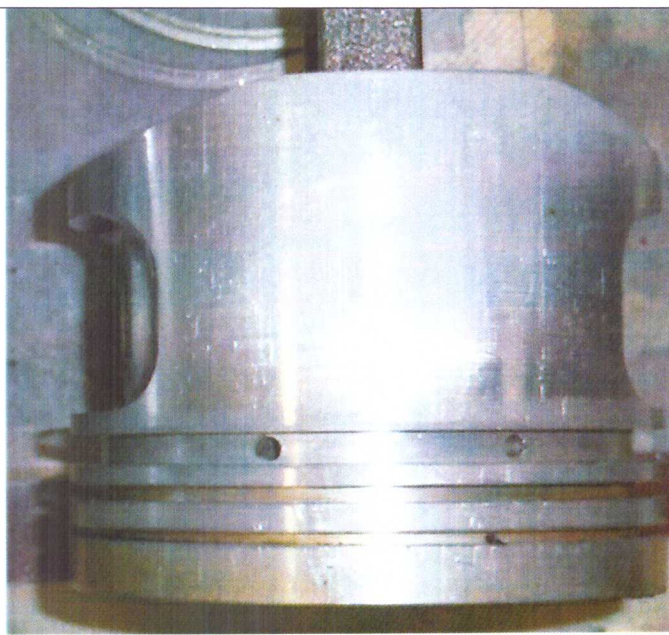


Рис. П1-8. Внешний вид боковой поверхности поршня второго цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF



Рис.П1-9. Внешний вид боковой поверхности поршня третьего цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

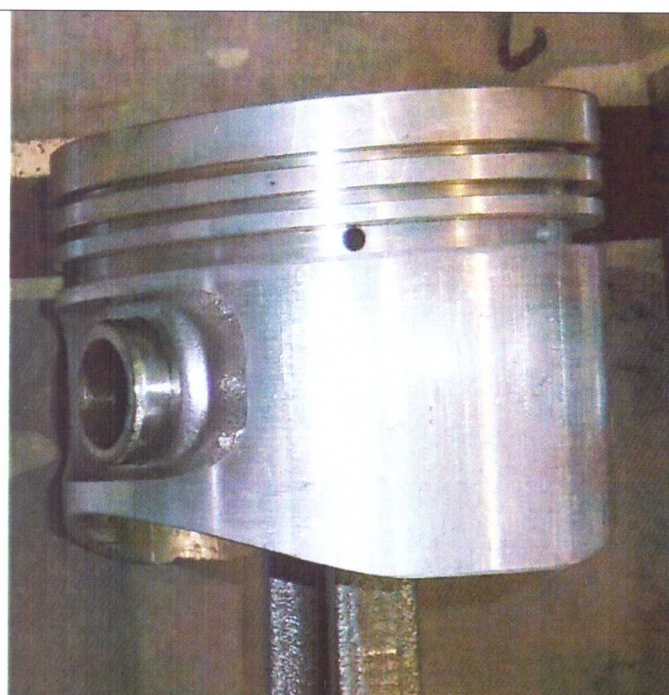


Рис. П1-10. Внешний вид боковой поверхности поршня третьего цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

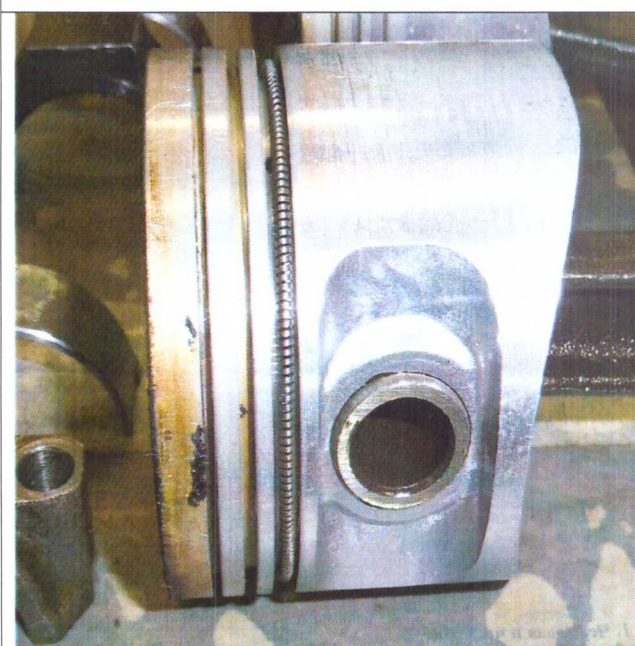


Рис.П1-11. Внешний вид боковой поверхности поршня четвертого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

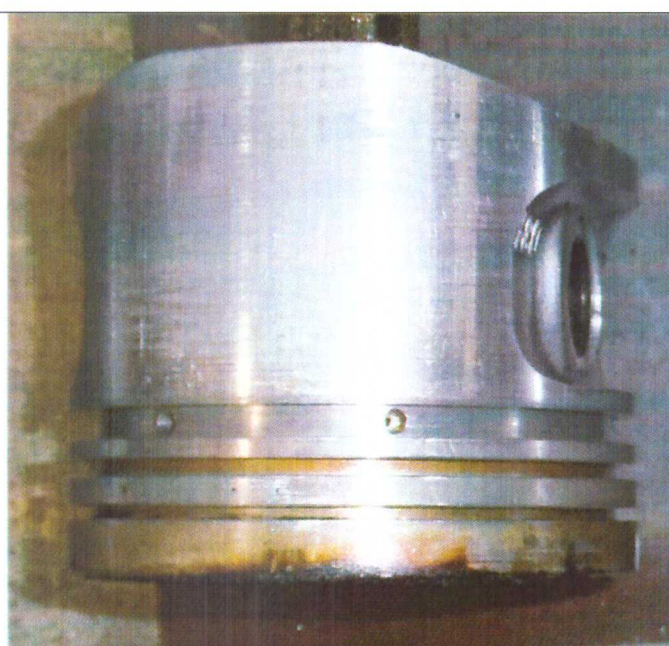


Рис. П1-12. Внешний вид боковой поверхности поршня четвертого цилиндра по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

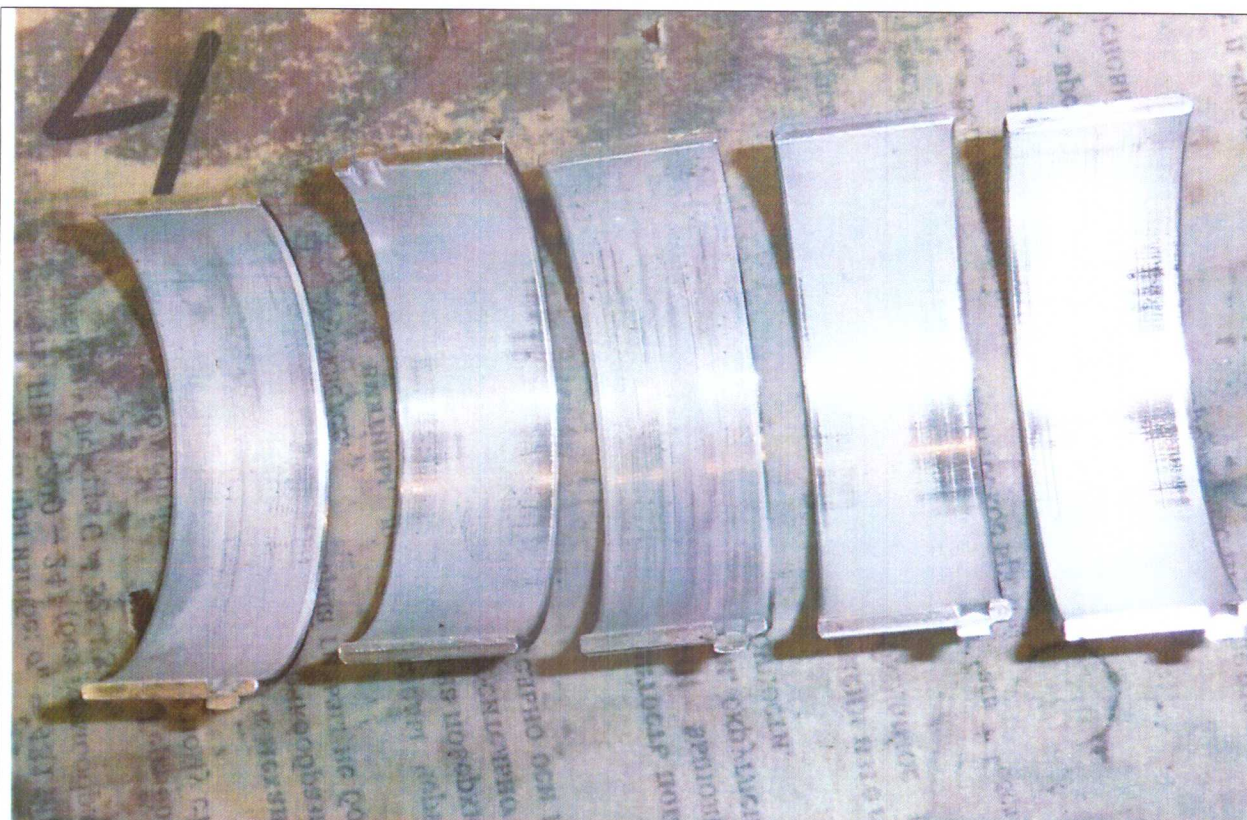


Рис.П1-13. Внешний вид рабочей поверхности нижних вкладышей коренных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

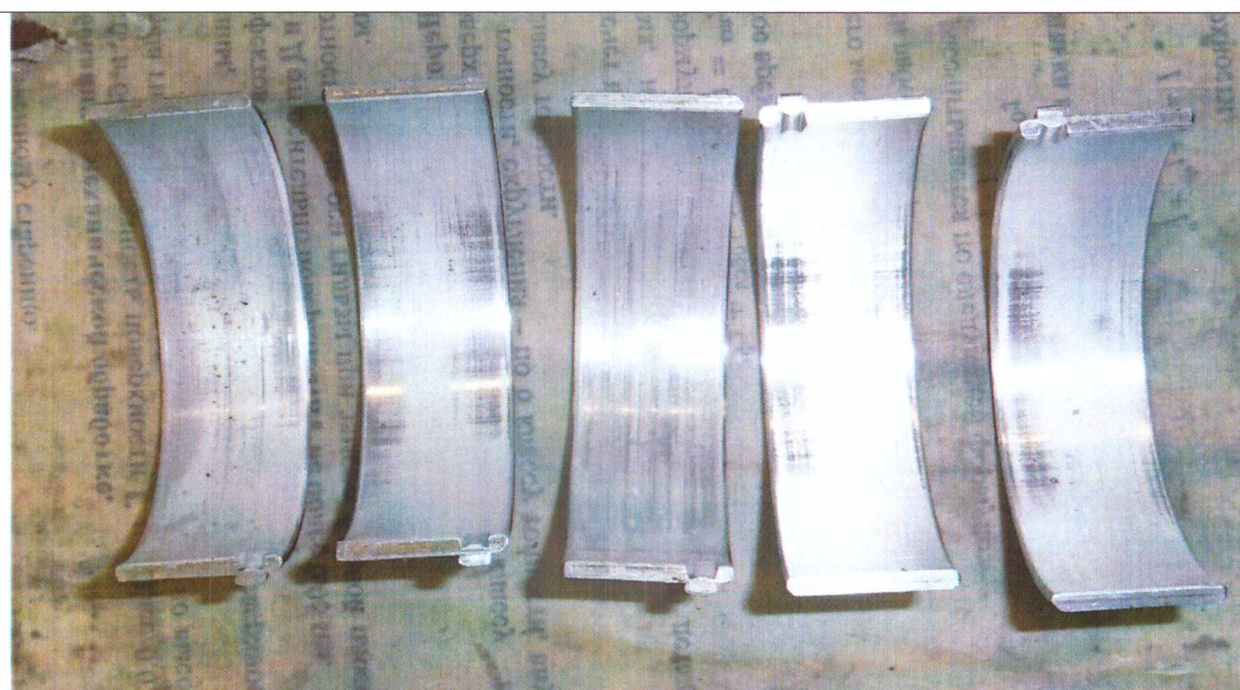


Рис.П1-14. Внешний вид рабочей поверхности нижних вкладышей коренных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF



Рис.П1-15. Внешний вид рабочей поверхности верхних вкладышей коренных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

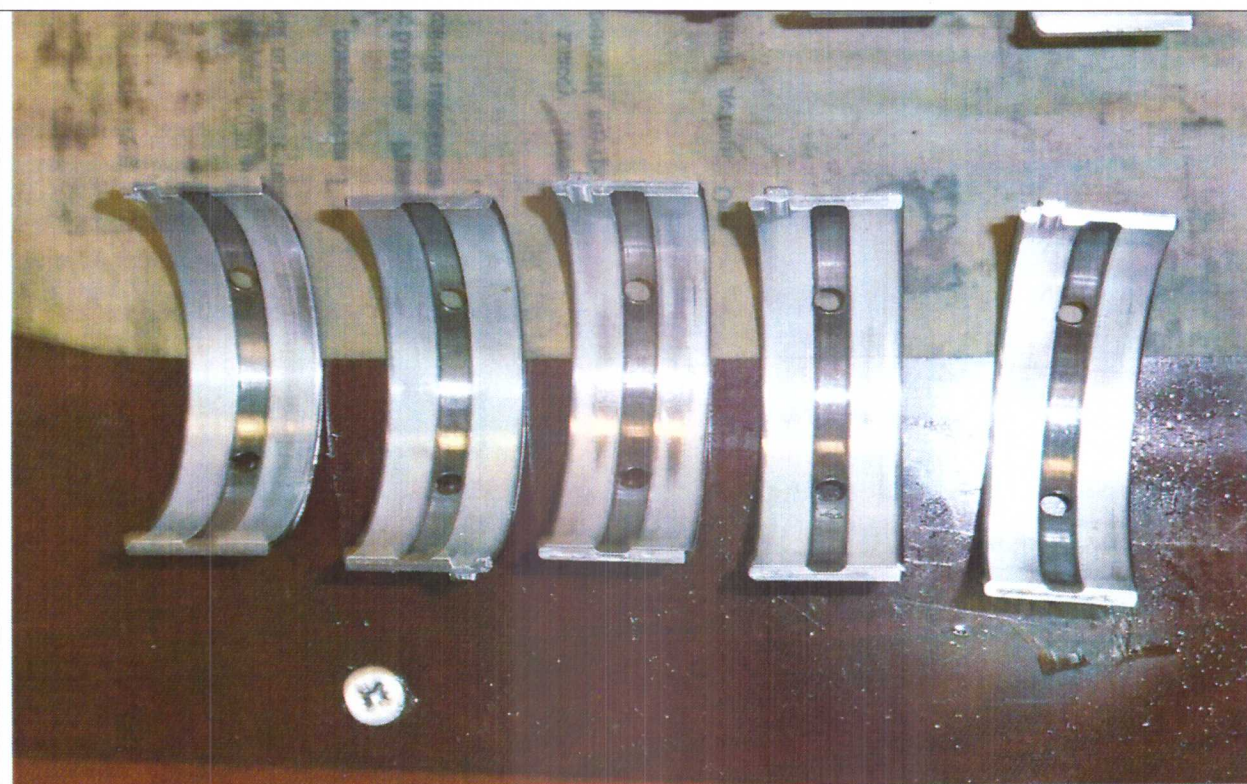


Рис.П1-16. Внешний вид рабочей поверхности верхних вкладышей коренных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF



Рис.П1-17. Внешний вид рабочей поверхности нижних вкладышей шатунных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

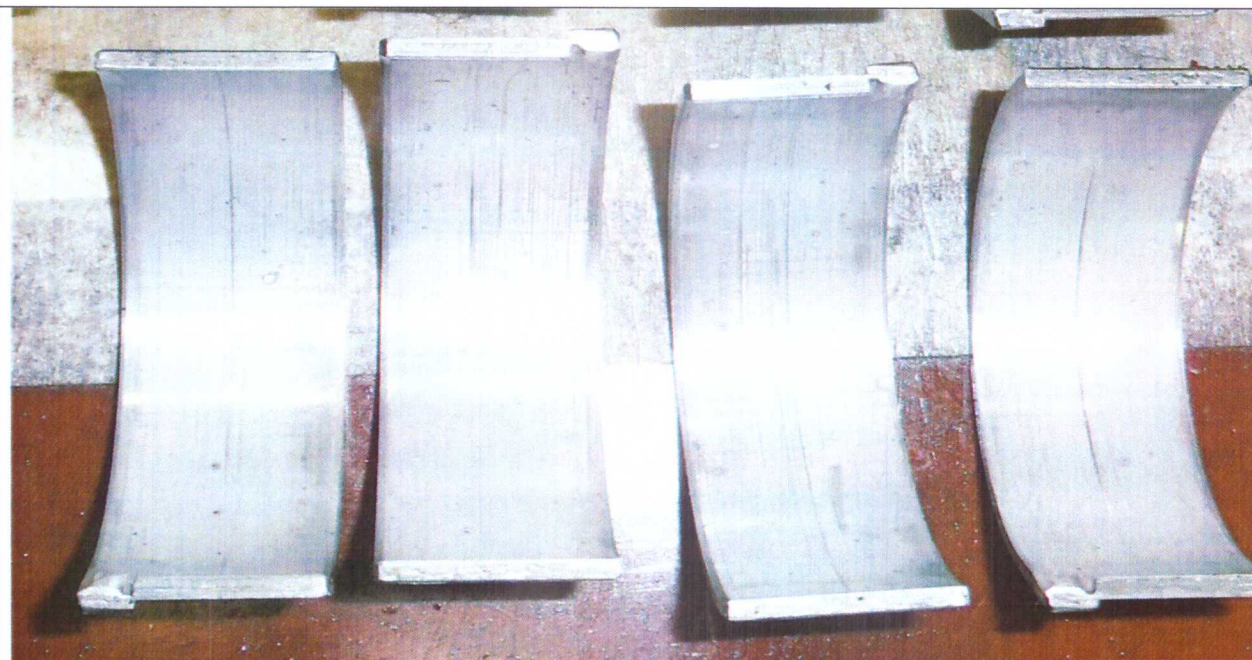


Рис.П1-18. Внешний вид рабочей поверхности нижних вкладышей шатунных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF



Рис.П1-19. Внешний вид рабочей поверхности верхних вкладышей шатунных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE

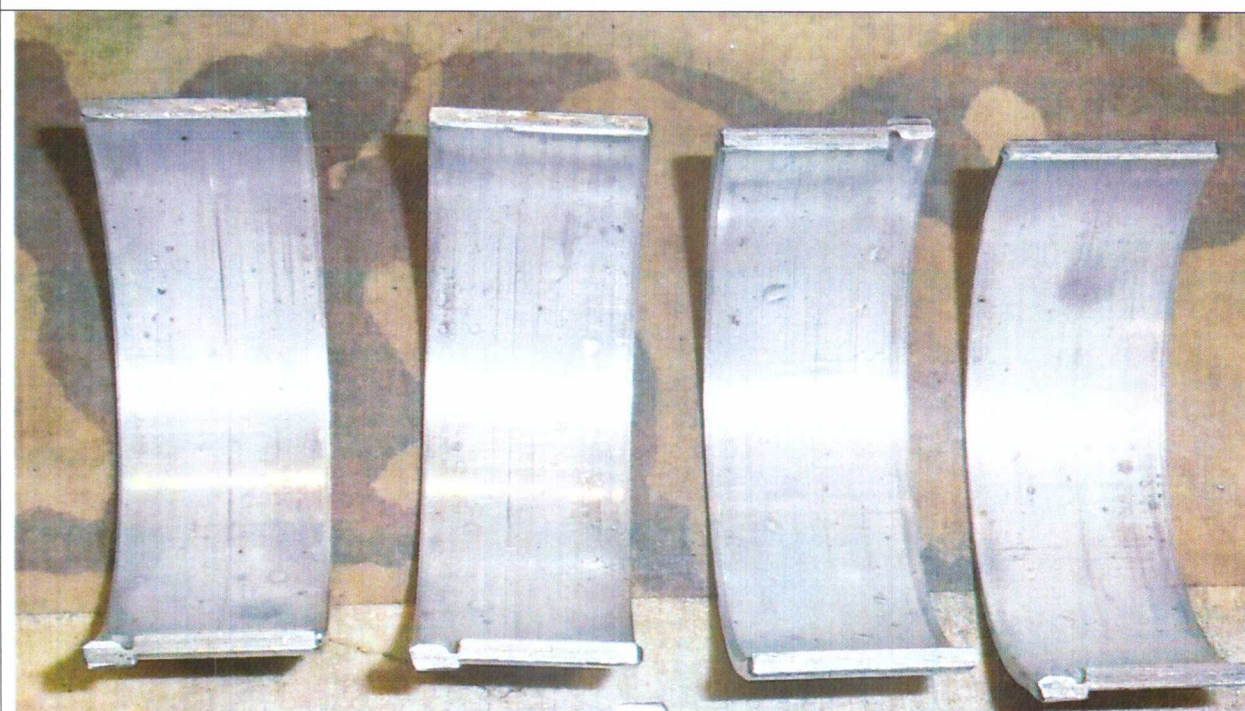


Рис.П1-20. Внешний вид рабочей поверхности верхних вкладышей шатунных подшипников коленчатого вала по окончании длительных испытаний двигателя при работе на базовом масле Castrol EDGE с добавкой нанокompозита Amortect PROOF