

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./

«20» 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)

Испытания нанокompозита Amortect PROOF
на бензиновом двигателе ВАЗ на нагрузочном 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	9
5. Результаты испытаний	10
6. Анализ результатов испытаний	26
7. Выводы по результатам испытаний	28 - 29

1. Цель проведения работы

Целью проведения настоящей работы является сравнительное экспериментальное исследование влияния обработки смазочной системы автомобильного бензинового двигателя ВАЗ-2112 нанокompозитом Amortect Proof производства Заказчика на комплекс моторных и экологических показателей двигателя.

Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации состава нанокompозита и технологии его применения, а также в рекламных и маркетинговых целях.

2. Объект исследований

Объектом испытаний по согласованию с Заказчиком было выбран бензиновый инжекторный двигатель ВАЗ-2112, работающий на синтетическом моторном масле Shell Helix HX8 SAE 5W-30. Масло приобреталось в магазине фирмы «Балткам», являющейся официальным дилером многих фирм-производителей моторного масла.

Двигатель подлежал обработке испытуемым нанокompозитом Amortect Proof – нанокompозит вводился в систему смазывания путем его смешения с моторным маслом в заданной Заказчиком концентрации.

3. Описание испытательного стенда и измерительной аппаратуры

Испытания проводились на базе быстроходных автомобильных двигателей семейства ВАЗ - инжекторного шестнадцатиклапанного двигателя ВАЗ-2112.

Данные двигатели предназначены для установки на переднеприводные автомобили малого класса и являются одними из наиболее распространенных в России.

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.).

Стенд оснащен следующими системами и оборудованием:

- тормозное устройство;
- пульт дистанционного управления двигателем с приборами контроля за его работой;
- устройство для соединения двигателя с тормозом;
- система водяного охлаждения двигателя;
- смазочная система двигателя;
- топливная система с устройством для замера расхода топлива;
- система воздухообеспечения;
- система выпуска отработавших газов.

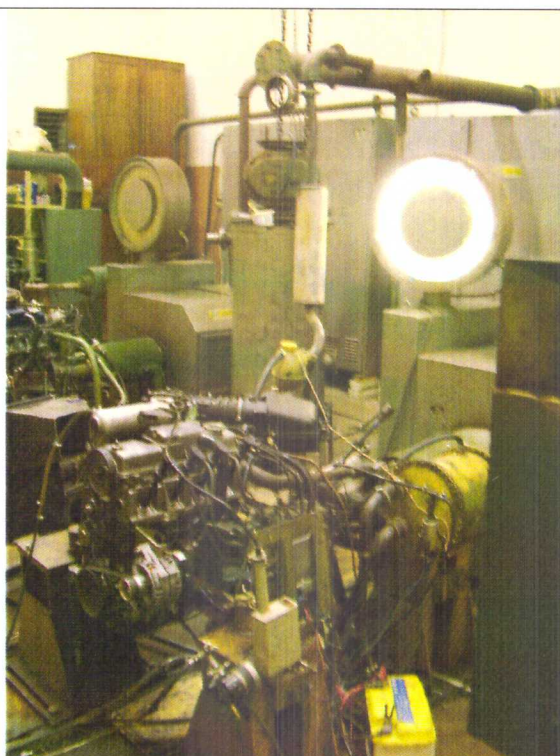


Рис. 1. Стенд с двигателем ВАЗ-2112



Рис. 2. Пульт управления стендом. Расходомер топлива и газоанализатор.



Рис. 3. Пульт управления стендом. Пульт управления и система компьютерной диагностики

Стенд для испытания двигателя был оборудован электротормозной установкой производства МЭЗ ВСЕТИН (ЧССР), состоящий из:

- балансирного динамометра DS 926-4 V с весами, датчиком вращающего момента, фотоэлектрическим датчиком скорости вращения и вентилятором для независимого охлаждения;
- преобразователя Леонарда DP 1126-4 (мотор-генератора);
- распределительного шкафа 4 RN 2088 со сдвоенным тормозным возбуждающим устройством и регулятором динамометра для регулирования скорости вращения и вращающего момента;
- пульта с аппаратурой управления, указателем скорости вращения (вольтметра градуированного в 1/мин., класс точности 1.5) и амперметра в цепи якорей.

Управление двигателем, электротормозной установкой и контроль работы систем установки осуществляется с дистанционного пульта управления. На пульте управления имеется регулятор для настройки требуемой величины скорости вращения и вращающего момента, приборы для аналогового измерения числа оборотов и тока в цепи якорей, переключатели для выбора направления вращения динамометра и остальная аппаратура, необходимая для работы динамометра и сигнализации.

Двигатель соединен с электротормозной установкой при помощи карданного вала, обеспечивающего компенсацию несоосностей валов двигателя и тормоза.

В процессе испытаний использовалось следующее измерительное оборудование:

Сведения об измерительном оборудовании:

Газоанализаторы:

Измеряемый параметр	Модель, тип прибора	Диапазон измерения	Концентрация поверочного газа	Погрешность, %
Концентрация NO	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...5000 ppm	1035 ppm	±2,0
Концентрация NO ₂	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...500 ppm	210 ppm	±2,0
Концентрация CO	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...5000 ppm	2000 ppm	±2,5
Концентрация CO ₂	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...20%	4.12%	±2,5
Концентрация O ₂	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...25%	20.8%	±2,5
Концентрация CH	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...10000 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	50-7000	±1,6
Крутящий момент, Н м	Гидротормоз	МАW	0-1500,0	±1,0
Расход воздуха, кг/час	Расходомер	РГУ-4	0 – 500,0	±1,0
Мгновенный расход топлива, кг/час	Штихпро-берный электронный расходомер	Д-1	0.2...50.0	±0,5
Средства измерения вспомогательных величин				
Температуры:				
Хладагента, град.С	Терморезис-тор	Штатный прибор двигателя	0-150	±4,0
Смазочного масла, град.С	Термопара	КСПЗ-П	0-150	±4,0
Отработанных газов, град.С	Термопара ХА	КСПЗ-П	50-800	±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
Давление:				
Атмосферное, мм.рт.ст	Барометр	М-98	300-800	±0,2
На всасывании, бар	Манометр	МТИ	0-2,5	±1,9
Влажности:				
Воздуха на впуске, %	Психометр	М-34	0-100	±1,0

4. Программа испытаний

Цель испытаний: Оценка степени влияния нанокompозита Amortect Proof на основные технико-эксплуатационные и экологические показатели автомобильного бензинового двигателя.

Анализируется изменение в процессе обработки:

- крутящего момента на режимах внешней скоростной характеристики;
- мгновенного расхода топлива на фиксированных режимах работы двигателя (динамика изменения расхода топлива);
- мощности механических потерь, полученных методом прокрутки двигателя от стенда;
- токсичности отработавших газов (динамика изменения токсичности);
- газоплотности цилиндра-поршневой группы (на основании анализа изменения компрессии по цилиндрам) и давления масла в системе смазывания).

Испытания проводятся на моторном стенде с двигателем ВАЗ-2112 с электрическим нагрузочным устройством.

Программа испытаний, согласно Техническому заданию на выполнение НИР, включала в себя следующие этапы:

1. Подготовка двигателя к испытаниям. Замена моторного масла, фильтрующих элементов масляных фильтров, замер компрессии по цилиндрам.
2. Пуск-прогрев двигателя, замер базовых показателей двигателя (частота вращения коленчатого вала, крутящий момент, мгновенный расход топлива, токсичность ОГ, давление и температура масла) на двух нагрузочных характеристиках при $n=2000$ и 3000 об/мин (10 режимов замера) и на режимах внешней скоростной характеристики при изменении частоты вращения коленчатого вала $n=1500...4000$ об/мин).
3. Обработка двигателя масляной компонентой нанокompозита Amortect PROOF по инструкции производителя препарата. Нароботка двигателя на фиксированном режиме работы 2 моточасов.
4. Замер показателей двигателя по программе п.2.

5. Нарботка двигателя 8 моточасов на фиксированном режиме работы.
6. Замер показателей двигателя по программе п.2.
7. Нарботка двигателя 5 моточасов на фиксированном режиме работы.
8. Замер показателей двигателя по программе п.2.
9. Нарботка двигателя 5 моточасов на фиксированном режиме работы.
10. Снятие итоговых характеристик двигателя по программе п.2.
11. Замер компрессии по цилиндрам.
12. Обработка результатов испытаний, подготовка отчета по испытаниям.

5. Результаты испытаний

Результаты испытаний, на которых нанокompозит Amortect Proof вводился в моторное масло, сведены в табл. 1...5 и проиллюстрированы графиками на рис. 4...12.

Результаты испытаний приведены ниже.

В таблицах использованы следующие обозначения:

n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

M_e – эффективный крутящий момент;

G_t – часовой расход топлива;

g_e – удельный расход топлива;

η_e – эффективный к.п.д.;

η_m – механический к.п.д.;

P_m – давление масла в системе смазывания;

T_m – температура масла в поддоне;

CO – содержание окиси углерода в отработавших газах двигателя;

NO – содержание окиси азота в отработавших газах двигателя;

CH – содержание остаточных углеводородов в отработавших газах.

**Нагрузочные характеристики, n=2000 об/мин
Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой
нанокompозита Amortect PROOF**

База

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	21,32	4,46	2,48	0,555	0,147	0,612	0,990	189	2075	2,5	82
2	41,62	8,72	3,41	0,391	0,209	0,759	1,315	211	2659	2,4	85
3	60,90	12,76	4,42	0,346	0,236	0,824	1,495	221	2683	2,3	87
4	81,20	17,01	5,16	0,303	0,270	0,865	1,258	204	2687	2,2	89
5	97,44	20,41	7,01	0,343	0,238	0,886	4,667	248	850	2,0	91
Среднее			4,496	0,388	0,220	0,789	1,945	215	2191	2,3	87

С нанокompозитом Amortect PROOF (через 2 моточаса после ввода в масло)

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	22,09	4,63	2,45	0,530	0,154	0,638	0,989	181	2104	2,5	81
2	42,12	8,82	3,31	0,375	0,218	0,774	1,345	203	2695	2,4	83
3	62,16	13,02	4,29	0,330	0,248	0,838	1,510	213	2725	2,3	86
4	83,22	17,43	5,14	0,295	0,277	0,876	1,272	205	2704	2,2	88
5	101,2	21,19	6,95	0,328	0,250	0,898	4,554	241	869	2,1	92
Среднее			4,428	0,372	0,229	0,805	1,934	209	2219	2,3	86
В сравнении с базой, %			- 1,5	- 4,1	+ 4,1	+ 2,0	- 0,6	- 2,8	+ 1,3	0	- 1,1

С нанокompозитом Amortect PROOF (через 10 моточасов после ввода в масло)

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	21,64	4,53	2,28	0,503	0,163	0,640	0,914	180	2175	2,5	80
2	42,26	8,85	3,30	0,373	0,219	0,779	1,269	198	2714	2,4	82
3	62,36	13,06	4,25	0,326	0,251	0,840	1,452	205	2778	2,3	85
4	83,49	17,49	5,16	0,295	0,277	0,877	1,198	202	2700	2,2	88
5	101,5	21,26	6,76	0,318	0,257	0,898	4,321	235	895	2,1	91
Среднее			4,350	0,363	0,233	0,807	1,831	204	2252	2,3	85
В сравнении с базой, %			- 3,2	- 6,4	+ 5,9	+ 2,3	- 5,9	- 5,1	+ 2,8	0	- 2,3

Нагрузочные характеристики, n=2000 об/мин											
Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF (продолжение таблицы)											
<i>С нанокompозитом Amortect PROOF (через 15 моточасов после ввода в масло)</i>											
№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	23,43	4,91	2,48	0,506	0,162	0,664	0,902	178	2210	2,5	81
2	42,69	8,94	3,29	0,368	0,222	0,784	1,254	199	2736	2,4	83
3	62,99	13,19	4,25	0,322	0,254	0,844	1,438	202	2810	2,3	84
4	84,34	17,66	5,07	0,287	0,285	0,879	1,175	199	2735	2,2	87
5	103,6	21,70	6,88	0,317	0,258	0,900	4,226	224	910	2,1	90
Среднее			4,394	0,360	0,236	0,814	1,799	200	2280	2,3	85
<i>В сравнении с базой, %</i>			- 2,3	- 7,2	+ 7,3	+ 3,2	- 7,5	- 7,0	+ 4,0	0	- 2,3
<i>С нанокompозитом Amortect PROOF (через 20 моточасов после ввода в масло)</i>											
№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	22,63	4,74	2,44	0,515	0,159	0,663	0,887	179	2211	2,5	80
2	42,63	8,93	3,20	0,359	0,228	0,788	1,241	195	2735	2,4	82
3	63,68	13,34	4,17	0,313	0,261	0,847	1,395	200	2845	2,3	86
4	84,74	17,75	5,04	0,284	0,288	0,881	1,112	192	2742	2,1	85
5	105,3	22,05	6,99	0,317	0,258	0,902	4,098	224	916	2,0	89
Среднее			4,368	0,358	0,239	0,816	1,747	198	2289	2,3	84
<i>В сравнении с базой, %</i>			- 2,8	- 7,7	+ 8,6	+ 3,4	- 10,2	- 7,9	+ 4,4	0	- 3,4

Табл.1. Нагрузочные характеристики двигателя, n=2000 об/мин. Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

Средние данные за цикл	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Tм, град.С
Изменение через 20 моточасов за цикл (n=2 000об/мин)/ отклонение от базы,%	- 2,8	- 7,7	+ 8,6	+ 3,4	- 10,2	- 7,9	+ 4,6	- 3,4

Табл. 1.1 Усредненные результаты, по нагрузочным характеристикам двигателя. Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF, n=2000 об/мин.

В данной таблице зеленым цветом отражены показатели, улучшившие свои значения, красным – ухудшившие, синим – оставшиеся в пределах погрешности измерения.

Стадия испытаний	Me при 2000 об/мин, Нм	ge, кг/ кВтч	Эффект. КПД	CO, %	СН, ppm	NO, ppm
Базовый замер	97,44	0,388	0,220	1,945	215	2191
После обработки, через 2 моточаса. среднее за цикл/отклонение от базы, %	101,2	0,372	0,229	1,934	209	2219
	3,9	-4,1	4,1	-0,6	-2,8	1,3
После обработки, через 10 моточасов. среднее за цикл/отклонение от базы, %	101,5	0,363	0,233	1,831	204	2252
	4,2	-6,4	5,9	-5,9	-5,1	2,8
После обработки, через 15 моточасов. среднее за цикл/отклонение от базы, %	103,6	0,360	0,236	1,799	200	2280
	6,4	-7,2	7,3	-7,5	-7,0	4,0
После обработки, через 20 моточасов. среднее за цикл/отклонение от базы, %	105,3	0,358	0,239	1,747	198	2289
	8,1	-7,7	8,6	-10,2	-7,9	4,4

Табл. 2. Средние за цикл испытаний (n=2000 об/мин) результаты замеров и расчет относительных эффектов, полученных после обработки двигателя ВАЗ-2112 нанокompозитом Amortect Proof на разных стадиях испытаний.

Нагрузочные характеристики, n=3000 об/мин
Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита
Amortect PROOF

Начальные параметры

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/ кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	20,93	6,58	3,35	0,510	0,160	0,539	1,393	217	1963	3,0	88
2	40,84	12,83	4,67	0,364	0,225	0,699	1,650	218	2383	2,9	90
3	61,26	19,25	6,07	0,316	0,259	0,781	1,320	205	2728	2,8	92
4	80,66	25,34	7,33	0,289	0,283	0,827	1,259	199	2729	2,7	95
5	107,2	33,68	11,47	0,340	0,240	0,867	5,775	255	889	2,5	98
Среднее			6,578	0,364	0,233	0,743	2,279	219	2138	2,8	93

С нанокompозитом Amortect PROOF (через 2 моточаса после ввода в масло)

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/ кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	21,01	6,60	3,18	0,482	0,170	0,550	1,356	209	1975	3,1	87
2	42,02	13,20	4,85	0,368	0,223	0,714	1,624	214	2392	2,9	90
3	63,81	20,05	6,34	0,316	0,259	0,796	1,321	201	2745	2,8	91
4	84,05	26,40	7,35	0,278	0,294	0,840	1,247	200	2705	2,8	93
5	109,5	34,39	11,02	0,320	0,255	0,876	5,452	243	921	2,6	97
Среднее			6,548	0,353	0,240	0,755	2,200	213	2147	2,8	92

В сравнении с начальными параметрами, %

- 0,5 - 3,0 + 3,0 + 1,6 - 3,5 - 2,7 + 0,4 0 - 1,1

С нанокompозитом Amortect PROOF (через 10 моточасов после ввода в масло)

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/ кВтч	ηе	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pм, бар	Tм, град. С
1	20,61	6,48	3,16	0,488	0,168	0,557	1,364	204	1982	3,1	85
2	41,23	12,95	4,78	0,369	0,222	0,719	1,632	210	2411	2,9	88
3	62,87	19,75	6,34	0,321	0,255	0,800	1,310	199	2765	2,9	92
4	82,46	25,90	7,24	0,279	0,293	0,842	1,215	201	2694	2,8	94
5	109,8	34,49	11,13	0,323	0,254	0,880	5,228	239	935	2,7	96
Среднее			6,530	0,356	0,238	0,760	2,150	211	2157	2,9	91

В сравнении с начальными параметрами, %

- 0,7 - 2,2 + 2,1 + 2,3 - 5,7 - 3,7 + 0,9 + 3,6 - 2,2

Нагрузочные характеристики, n=3000 об/мин											
Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF (продолжение таблицы)											
<i>С нанокompозитом Amortect PROOF (через 15 моточасов после ввода в масло)</i>											
№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	СО,%	СН, ppm	NO, ppm	Рм, бар	Тм, град. С
1	20,97	6,59	3,14	0,476	0,172	0,571	1,314	200	2001	3,2	83
2	43,00	13,51	4,81	0,356	0,230	0,737	1,598	206	2423	3,1	87
3	65,02	20,43	6,31	0,309	0,265	0,814	1,298	200	2745	3,0	90
4	84,94	26,69	7,28	0,273	0,300	0,854	1,198	202	2714	2,9	91
5	111,7	35,09	11,13	0,317	0,258	0,889	5,026	237	948	2,8	94
Среднее			6,534	0,346	0,245	0,773	2,087	209	2166	3,0	89
<i>В сравнении с начальными параметрами, %</i>			- 0,7	- 4,9	+ 4,9	+ 4	- 8,4	- 4,6	+ 1,3	+ 7,1	- 4,3
<i>С нанокompозитом Amortect PROOF (через 20 моточасов после ввода в масло)</i>											
№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gт, кг/ч	ge, кг/кВтч	ηе	ηм	СО,%	СН, ppm	NO, ppm	Рм, бар	Тм, град. С
1	21,13	6,64	3,12	0,470	0,174	0,578	1,325	195	2051	3,2	83
2	42,27	13,28	4,79	0,360	0,227	0,737	1,605	200	2434	3,2	87
3	64,98	20,42	6,25	0,306	0,267	0,815	1,281	197	2769	3,1	91
4	86,64	27,22	7,33	0,269	0,304	0,857	1,175	195	2725	3,0	92
5	113,6	35,66	11,25	0,315	0,260	0,890	4,996	229	970	2,9	94
Среднее			6,548	0,344	0,246	0,775	2,076	203	2190	3,1	89
<i>В сравнении с начальными параметрами, %</i>			- 0,5	- 5,5	+5,5	+4,3	- 8,9	- 7,3	+ 2,4	+ 10,7	- 4,3

Табл. 3. Нагрузочные характеристики двигателя, n=3000 об/мин. Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

Средние данные за цикл	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	η_e	η_m	CO, %	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град.С
Изменение через 20 моточасов за цикл (n=3 000 об/мин)/ отклонение от начальных характеристик, %	- 0,5	- 5,5	+5,6	+4,3	- 8,9	- 7,3	+ 2,4	+ 10,7	- 4,3

Табл. 3.1 Усредненные результаты, по нагрузочным характеристикам двигателя. Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF, n=3000 об/мин.

В данной таблице зеленым цветом отражены показатели, улучшившие свои значения, красным – ухудшившие, синим – оставшиеся в пределах погрешности измерения.

Стадия испытаний	Me при 3000 об/мин, Нм	ge, кг/кВтч	Эффект. КПД	CO, %	CH, ppm	NO, ppm
Базовый замер	107,2	0,364	0,233	2,279	219	2138
После обработки, через 2 моточаса, среднее за цикл/отклонение от базы, %	109,5	0,353	0,240	2,200	213	2147
	2,1	-3,0	3,0	-3,5	-2,7	0,4
После обработки, через 10 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы, %	109,8	0,356	0,238	2,150	211	2157
	2,4	-2,2	2,1	-5,7	-3,7	0,9
После обработки, через 15 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы, %	111,7	0,346	0,245	2,087	209	2166
	4,2	-4,9	5,2	-8,4	-4,6	1,3
После обработки, через 20 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы, %	113,6	0,344	0,246	2,076	203	2190
	6,0	-5,5	5,6	-8,9	-7,3	2,4

Табл. 4. Средние за цикл испытаний (n=3000 об/мин) результаты замеров и расчет относительных эффектов, полученных после обработки двигателя ВА3-2112 нанокompозитом Amortect Proof на разных стадиях испытаний.

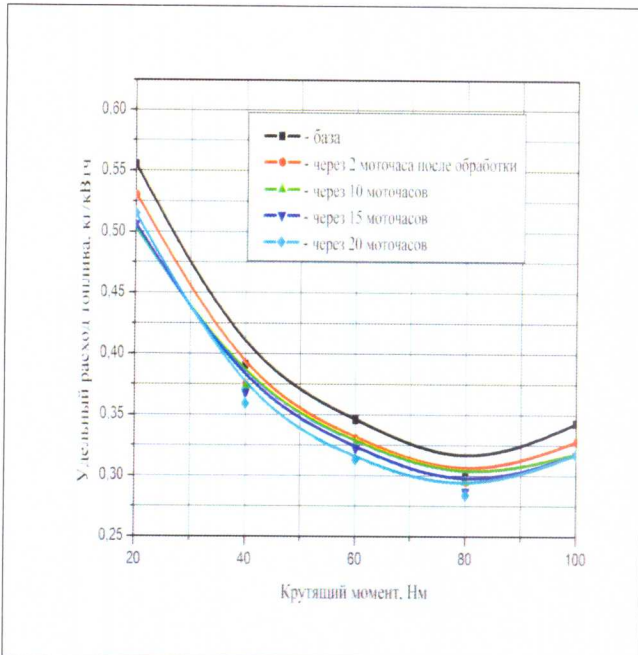


Рис. 4. Изменение удельного расхода топлива двигателя VAZ-2112 на разных этапах испытаний после обработки нанокompозитом Amortect PROOF, нагрузочная характеристика, $n=2000$ об/мин

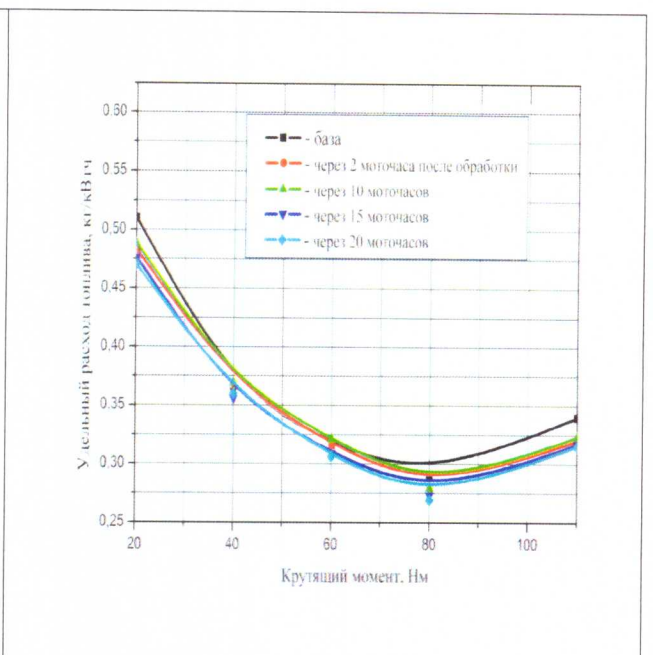


Рис. 5. Изменение удельного расхода топлива двигателя VAZ-2112 на разных этапах испытаний после обработки нанокompозитом Amortect PROOF, нагрузочная характеристика, $n=3000$ об/мин

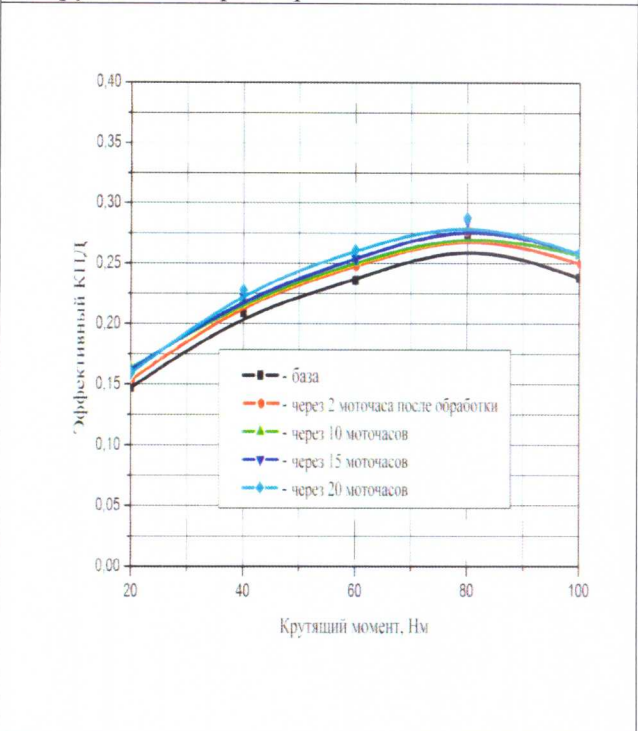


Рис. 6. Изменение эффективного КПД двигателя VAZ-2112 на разных этапах испытаний после обработки нанокompозитом Amortect PROOF, нагрузочная характеристика, $n=2000$ об/мин

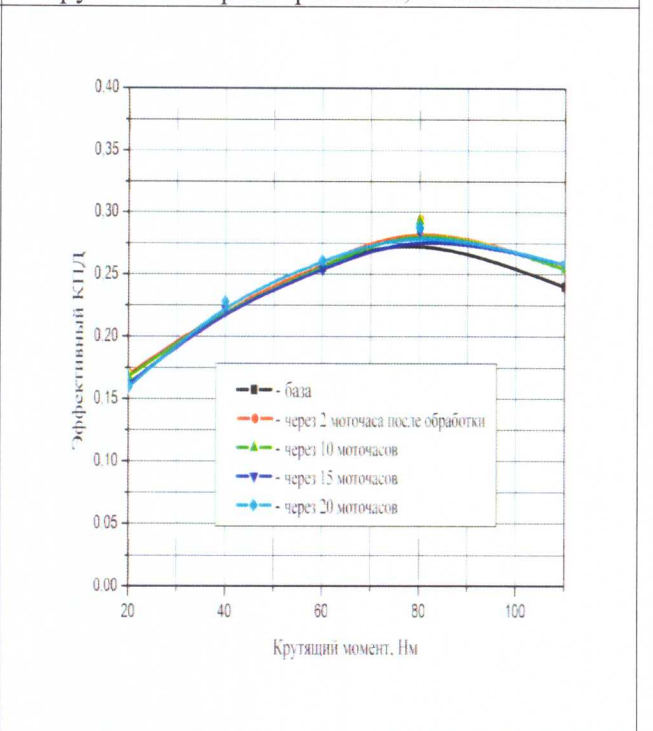
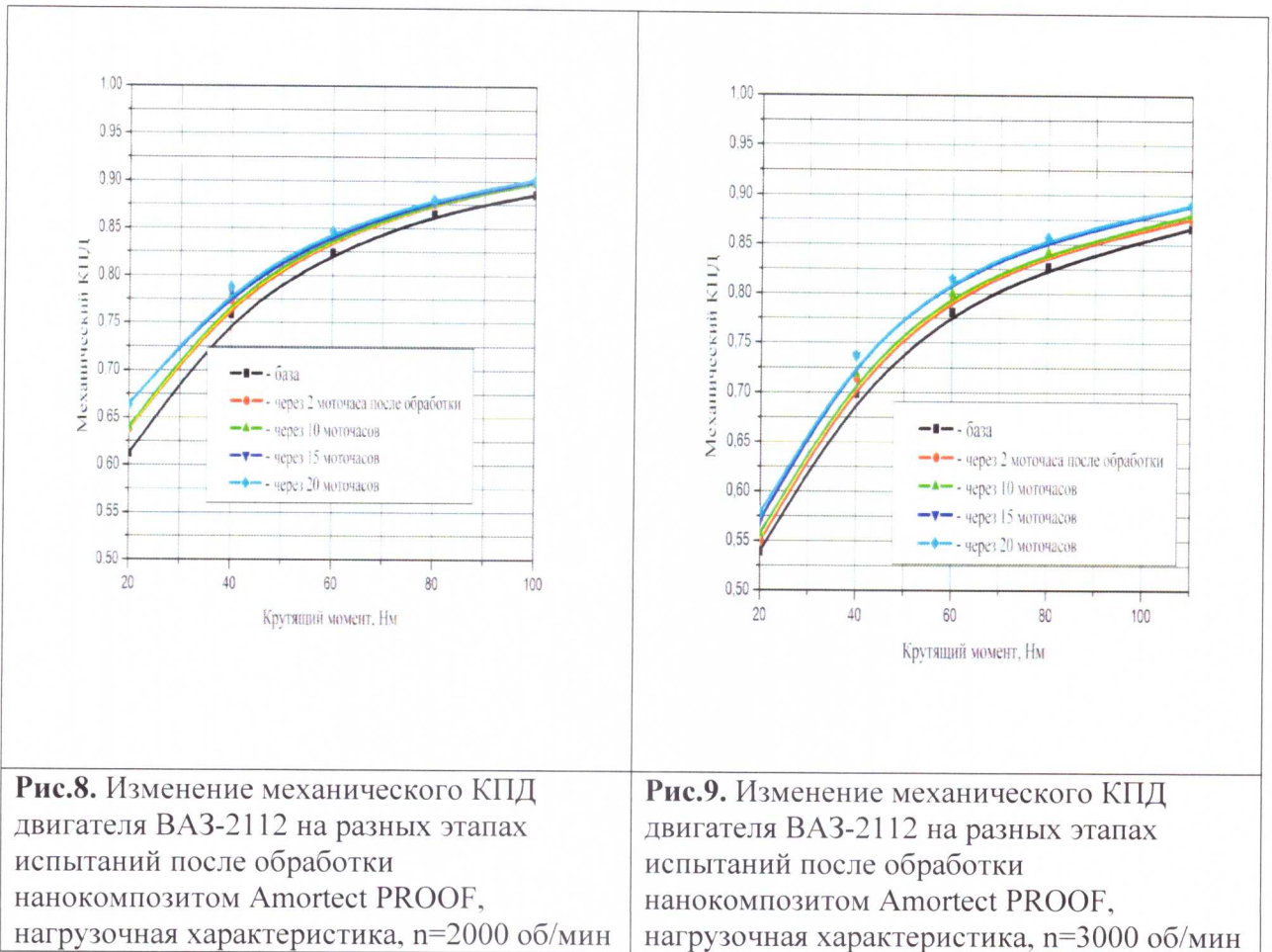


Рис. 7. Изменение эффективного КПД двигателя VAZ-2112 на разных этапах испытаний после обработки нанокompозитом Amortect PROOF, нагрузочная характеристика, $n=3000$ об/мин



Результаты измерений параметров двигателя на режимах внешней скоростной характеристики на разных стадиях обработки двигателя нанокompозитом Amortect Proof, сведены в **табл. 5** и проиллюстрированы графиками на рис.10-12.

Внешние скоростные характеристики Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

Начальные параметры

п, об/мин	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/ кВтч	ηe	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град. С
1500	93,96	14,75	5,41	0,366	0,223	0,891	3,894	218	756	2,0	89
2000	98,05	20,53	7,15	0,348	0,235	0,887	4,667	245	901	2,1	92
2500	103,2	27,01	9,00	0,333	0,246	0,877	5,264	249	894	2,3	95
3000	107,2	33,69	11,70	0,347	0,236	0,867	5,775	254	934	2,6	100
3500	110,8	40,61	14,60	0,359	0,228	0,831	5,841	247	865	2,8	102
4000	107,2	44,92	16,54	0,368	0,222	0,787	4,956	221	786	2,9	106
Среднее			10,73	0,354	0,232	0,857	5,066	239	856	2,45	97

С нанокompозитом Amortect PROOF (через 2 моточаса после ввода в масло)

п, об/мин	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/ кВтч	ηe	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град. С
1500	97,56	15,32	5,35	0,349	0,234	0,899	3,778	210	766	2,1	88
2000	102,2	21,41	7,09	0,331	0,247	0,899	4,554	241	896	2,2	91
2500	106,4	27,85	9,03	0,324	0,252	0,887	5,158	241	889	2,4	95
3000	109,5	34,40	11,24	0,327	0,250	0,876	5,452	243	941	2,6	99
3500	114,2	41,84	14,60	0,349	0,234	0,845	5,770	242	882	2,9	101
4000	109,5	45,86	16,55	0,361	0,227	0,793	4,962	217	795	3,0	106
Среднее			10,64	0,340	0,241	0,867	4,946	232	861,5	2,53	96,7
В сравнении с начальными параметрами, %			-0,8	-4,0	+3,9	+1,2	-2,4	-2,9	+ 0,6	+3,3	-0,3

С нанокompозитом Amortect PROOF (через 10 моточасов после ввода в масло)

п, об/мин	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/ кВтч	ηe	ηм	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град. С
1500	96,39	15,14	5,26	0,347	0,236	0,898	3,659	211	785	2,1	88
2000	101,6	21,27	6,89	0,324	0,252	0,898	4,321	238	895	2,2	91
2500	106,2	27,80	9,02	0,324	0,252	0,891	5,124	240	901	2,5	93
3000	109,8	34,49	11,35	0,329	0,249	0,880	5,229	239	934	2,7	97
3500	113,4	41,57	14,62	0,352	0,233	0,850	5,890	240	885	3,0	99
4000	110,3	46,21	16,47	0,356	0,230	0,798	4,885	210	812	3,1	103
Среднее			10,60	0,339	0,242	0,869	4,851	230	869	2,60	95,2
В сравнении с начальными параметрами, %			-1,2	-4,2	+ 4,3	+ 1,4	- 4,2	- 3,8	+ 1,5	+ 6,1	- 1,9

Внешние скоростные характеристики											
Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF (продолжение таблицы)											
<i>С нанокompозитом Amortect PROOF (через 15 моточасов после ввода в масло)</i>											
п, об/мин	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	η_e	η_m	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град. С
1500	99,50	15,63	5,31	0,340	0,241	0,900	3,551	210	792	2,1	88
2000	104,8	21,94	7,02	0,320	0,256	0,900	4,226	240	910	2,2	90
2500	108,5	28,39	8,95	0,315	0,260	0,897	4,852	240	910	2,5	93
3000	112,1	35,23	11,35	0,322	0,254	0,889	5,026	237	938	2,8	96
3500	116,3	42,64	14,48	0,340	0,241	0,856	5,626	232	895	3,0	100
4000	112,1	49,97	16,36	0,348	0,235	0,803	4,770	204	815	3,1	102
Среднее			10,58	0,331	0,248	0,874	4,675	227,17	876	2,62	94,8
В сравнении с начальными параметрами, %			- 1,4	- 6,5	+ 6,9	+ 2	- 7,7	- 4,9	+ 2,3	+ 6,9	- 2,3
<i>С нанокompозитом Amortect PROOF (через 20 моточасов после ввода в масло)</i>											
п, об/мин	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	η_e	η_m	CO,%	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град. С
1500	100,4	15,77	5,45	0,346	0,237	0,905	3,559	207	798	2,1	88
2000	105,7	22,14	7,13	0,322	0,254	0,902	4,028	226	912	2,2	90
2500	109,9	28,78	9,03	0,314	0,261	0,902	4,806	230	924	2,6	92
3000	113,6	35,69	11,47	0,321	0,255	0,890	4,996	236	942	2,8	94
3500	117,3	43,00	14,62	0,340	0,241	0,861	5,423	228	906	3,0	99
4000	113,1	47,37	16,62	0,351	0,233	0,804	4,698	199	821	3,1	101
Среднее			10,72	0,332	0,247	0,877	4,585	221	883	2,63	94
В сравнении с начальными параметрами, %			-0,1	- 6,2	+ 6,5	+ 2,3	-9,5	- 7,5	+ 3,2	+ 7,3	- 3,1

Табл.5. Внешние скоростные характеристики двигателя. Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

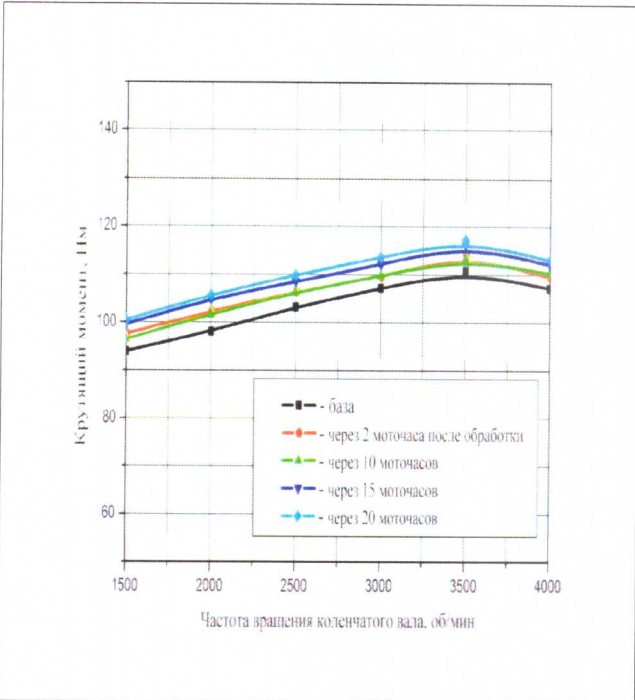


Рис.10. Изменение крутящего момента двигателя VAZ-2112 на разных этапах испытаний после обработки нанокompозитом Amortect PROOF, внешняя скоростная характеристика

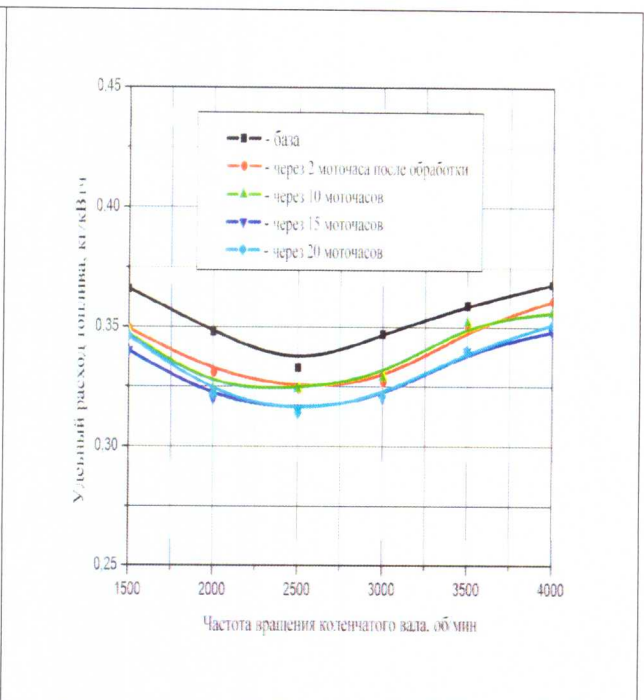


Рис.11. Изменение удельного эффективного расхода топлива двигателя VAZ-2112 на разных этапах испытаний после обработки нанокompозитом Amortect PROOF, внешняя скоростная характеристика

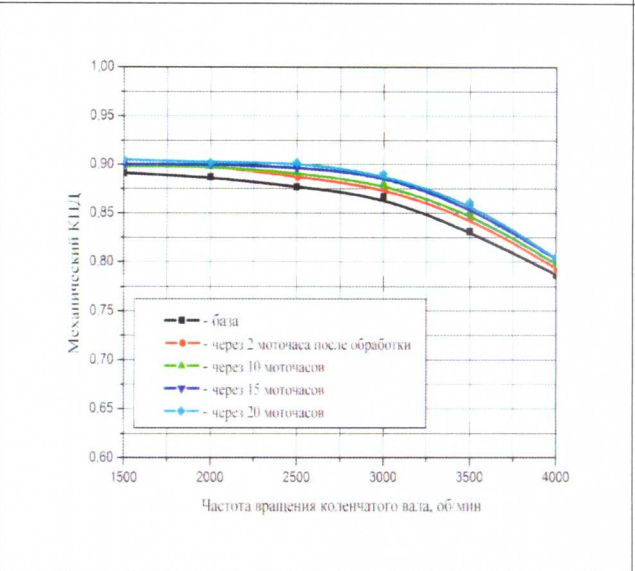


Рис.12. Изменение механического КПД двигателя VAZ-2112 на разных этапах испытаний после обработки нанокompозитом Amortect PROOF, внешняя скоростная характеристика

На каждом этапе испытаний проводились замеры момента механических потерь двигателя методом прокрутки от стенда. Результаты замеров сведены в табл. 6.

Момент механических потерь, Нм				
Частота вращения кол.вала, об/мин	Начало испытаний		Через 2 моточаса после ввода Amortect PROOF	
	Закрытый дроссель	Открытый дроссель	Закрытый дроссель	Открытый дроссель
300	18,0	16,5	17,5	15,5
1000	13,5	12,0	13,0	11,5
1500	13,0	11,5	12,5	11,0
2000	14,0	12,5	13,0	11,5
2500	16,0	14,5	15,5	13,5
3000	18,5	16,5	18,0	15,5
3500	23,0	22,5	22,5	21,0
Среднее	17,0	15,0	16,0	14,0
Частота вращения кол.вала, об/мин	Через 10 моточасов после ввода Amortect PROOF		Через 15 моточасов после ввода Amortect PROOF	
	Закрытый дроссель	Открытый дроссель	Закрытый дроссель	Открытый дроссель
300	16,5	14,5	16,0	14,0
1000	12,0	11,0	11,5	11,0
1500	12,0	11,0	11,0	11,0
2000	12,5	11,5	12,0	11,5
2500	15,0	13,0	14,0	12,5
3000	17,0	15,0	16,5	14,0
3500	21,0	20,0	20,5	19,5
Среднее	15,0	14,0	15,0	13,0
Частота вращения кол.вала, об/мин	Через 20 моточасов после ввода Amortect PROOF			
	Закрытый дроссель	Открытый дроссель		
300	16,0	14,0		
1000	11,5	11,0		
1500	11,0	10,5		
2000	11,5	11,5		
2500	13,5	12,0		
3000	16,0	14,0		
3500	20,0	19,0		
Среднее	14,0	13,0		
В сравнении с Началом испытаний, %	- 17,6	- 13,3		

Табл.6. Данные замеров момента механических потерь двигателя методом прокрутки от стенда на разных стадиях его обработки нанокompозитом Amortect PROOF

Согласно требованиям Технического задания, до и после испытаний проводились замеры компрессии в цилиндрах двигателей.

Замеры производились при фиксированной частоте вращения коленчатого вала 250 об/мин, задаваемой стартером двигателя. Показания компрессометра усреднялись по трем замерам для каждого цилиндра.

Данные замеров сведены в табл. 7.

Этап испытаний	1-й цилиндр	2-й цилиндр	3-й цилиндр	4-й цилиндр
До обработки двигателя	12,4	11,7	12,2	11,9
По окончании испытаний	12,4	11,9	12,3	12,0

Табл. 7. Данные замера компрессии по цилиндрам в процессе стендовых испытаний двигателя ВАЗ в процессе его обработки нанокompозитом Amortect PROOF

Для оценки степени влияния обработки двигателя нанокompозитом Amortect PROOF на работу катализатора системы подавления токсичности отработавших газов, было проведено специальное исследование. До обработки и по окончании испытаний было проведено измерение токсичности отработавших газов до и после катализатора на режимах нагрузочных характеристик при $n=2000$ и 3000 об/мин. На основании полученных данных были рассчитаны коэффициенты эффективности работы катализатора по компонентам CO , CH , NO_x .

Полученные данные сведены в табл. 8, 9.

В нижеприведенных таблицах введены следующие обозначения:

CO^1 , CH^1 , NO^1 – замеренные значения содержания токсических компонент CO , CH , NO_x до катализатора соответственно;

CO^2 , CH^2 , NO^2 – замеренные значения содержания токсических компонент CO , CH , NO_x после катализатора соответственно;

K_{CO} , K_{CH} , K_{NO} – коэффициенты эффективности гашения токсических

компонент CO, CH и NO_x соответственно, рассчитываемые по формулам:

$$K_{CO} = (CO^1 - CO^2) / CO^1, \quad K_{CH} = (CH^1 - CH^2) / CH^1, \quad K_{NO} = (NO^1 - NO^2) / NO^1$$

Токсичность отработавших газов на режимах нагрузочных характеристик, n=2000 об/мин										
<i>База</i>										
№ режима	Me, Нм	CO ¹ , %	CO ² ,	K _{CO}	CH ¹ , ppm	CH ² , ppm	K _{CH}	NO ¹ , ppm	NO ² , ppm	K _{NO}
1	21,32	0,990	0,887	0,104	189	36	0,810	2075	154	0,926
2	41,62	1,315	1,010	0,231	211	37	0,825	2659	285	0,911
3	60,90	1,495	1,220	0,183	221	36	0,837	2683	363	0,864
4	81,20	1,258	1,135	0,098	204	36	0,824	2687	420	0,847
5	97,44	4,667	4,138	0,113	248	138	0,444	850	392	0,539
Среднее за цикл		1,945	1,678	0,146	215	57	0,749	2191	323	0,817
<i>С нанокomпозитом Amortect PROOF (через 20 моточасов после ввода в масло)</i>										
№ режима	Me, Нм	CO ¹ , %	CO ² , %	K _{CO}	CH ¹ , ppm	CH ² , ppm	K _{CH}	NO ¹ , ppm	NO ² , ppm	K _{NO}
1	21,32	0,887	0,812	0,085	179	29	0,838	2211	169	0,924
2	41,62	1,241	0,925	0,255	195	30	0,846	2735	303	0,889
3	60,90	1,395	1,071	0,232	200	34	0,830	2845	365	0,872
4	81,20	1,112	0,953	0,143	192	32	0,833	2742	449	0,836
5	97,44	4,098	3,815	0,069	224	141	0,371	916	400	0,563
Среднее за цикл		1,747	1,515	0,157	198	53	0,743	2289	337	0,817
<i>В сравнении с базой, %</i>		- 10,2	- 9,7	+ 7,5	- 7,9	- 7,0	- 0,8	+ 4,5	+ 4,3	0

Табл.8. Оценка эффективности работы катализатора, нагрузочные характеристики двигателя, n=2000 об/мин. Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокomпозита Amortect PROOF

Токсичность отработавших газов на режимах нагрузочных характеристик, n=3000 об/мин										
<i>База</i>										
№ режима	Me, Нм	CO ¹ ,%	CO ² ,%	Kco	CH ¹ , ppm	CH ² , ppm	KCH	NO ¹ , ppm	NO ² , ppm	KNO
1	20,93	1,393	0,707	0,492	217	22	0,899	1963	346	0,824
2	40,84	1,650	0,888	0,462	218	24	0,900	2383	420	0,824
3	61,26	1,320	0,562	0,574	205	28	0,863	2728	642	0,764
4	80,66	1,259	0,922	0,268	199	42	0,789	2729	691	0,747
5	107,2	5,775	5,118	0,114	255	183	0,282	889	298	0,664
Среднее за цикл		2,279	1,639	0,382	219	60	0,747	2138	479	0,765
<i>С нанокompозитом Amortect PROOF (через 20 моточасов после ввода в масло)</i>										
№ режима	Me, Нм	CO ¹ ,%	CO ² ,%	Kco	CH ¹ , ppm	CH ² , ppm	KCH	NO ¹ , ppm	NO ² , ppm	KNO
1	21,13	1,325	0,647	0,511	195	22	0,887	2051	421	0,795
2	42,27	1,605	0,845	0,474	200	26	0,870	2434	507	0,792
3	64,98	1,281	0,562	0,561	197	30	0,848	2769	557	0,799
4	86,64	1,175	0,888	0,244	195	54	0,723	2725	686	0,748
5	113,6	4,996	4,034	0,193	229	165	0,279	970	269	0,722
Среднее за цикл		2,076	1,395	0,397	203	59	0,721	2190	488	0,771
<i>В сравнении с базой, %</i>		-8,9	-14,9	+3,9	-7,3	-1,7	-3,5	+2,4	+1,9	+0,8

Табл.9. Оценка эффективности работы катализатора, нагрузочные характеристики двигателя, n=3000 об/мин. Моторное масло Shell Helix HX8 5W-30 с добавкой нанокompозита Amortect PROOF

Как следует из полученных результатов, изменение эффективности работы катализатора после обработки двигателя нанокompозитом Amortect PROOF по сравнению с начальным состоянием укладывается в пределы погрешности измерения.

6. Анализ результатов испытаний

Для количественной оценки полученных эффектов были рассчитаны усредненные эффекты добавления в масло нанокompозита, полученные на различных этапах испытаний (табл. 10). Также в данной таблице приведены проценты улучшения/ухудшения показателей относительно замеренных при работе двигателя на чистом масле, усредненные по точкам замера.

В данной таблице зеленым цветом отражены показатели, улучшившие свои значения, красным – ухудшившие, синим – оставшиеся в пределах погрешности измерения.

Образец топлива	Me при 4000 об/мин, Нм	ge, кг/ кВтч	Эффект. КПД	CO, %	CH, ppm	NO, ppm
Базовый замер	107,2	0,376	0,227	2,112	217	2164
После обработки, через 2 моточаса, среднее за цикл/отклонение от базы, %	109,5	0,362	0,235	2,067	211	2183
	2,1	-3,7	3,5	-2,1	-2,8	0,9
После обработки, через 10 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы, %	109,8	0,359	0,236	1,990	207	2205
	2,4	-4,5	4,0	-5,8	-4,6	1,9
После обработки, через 15 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы, %	111,7	0,353	0,241	1,943	205	2223
	4,2	-6,1	6,2	-8,0	-5,5	2,7
После обработки, через 20 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы, %	113,6	0,350	0,243	1,912	201	2240
	6,0	-6,9	7,0	-9,5	-7,4	3,5

Табл. 10. Средние за цикл испытаний результаты замеров и расчет относительных эффектов, полученных после обработки двигателя ВАЗ-2112 нанокompозитом Amortest Proof на разных стадиях испытаний.

- Полученные результаты изменения давления масла в двигателе свидетельствуют об определенном улучшении условий работы подшипников коленчатого вала после его обработки нанокompозитом Amortect Proof, что, очевидно, является следствием улучшения качества рабочих поверхностей подшипников (табл. 9). Кроме того, на рост давления масла положительно сказывается снижение температуры масла в системе смазывания двигателя, отмеченное в ходе испытаний. Это благоприятно влияет на ресурсные показатели основных пар трения двигателя, снижая скорость их износа.
- Снижение температуры масла в поддоне двигателя свидетельствует о снижении мощности трения в процессе обработки двигателя нанокompозитом Amortect PROOF. Эта вывод четко подтверждается данными прямого измерения момента механических потерь (табл.6) двигателя методом прокрутки от стенда. Как следствие, после обработки двигателя нанокompозитом наблюдается устойчивый рост механического КПД двигателя. По итогу испытаний увеличение механического КПД в среднем составило 4% в зависимости от режима работы (табл.1, 3).
- Наблюдается определенное снижение удельного расхода топлива (в среднем на 6,9%) и рост эффективного КПД (в среднем на 7,0%) в среднем за полный цикл испытаний (табл. 1, 3, 10) по итогу длительной работы двигателя на моторном масле, содержащем нанокompозит Amortect PROOF. Кроме того, по итогу испытаний был зафиксирован рост крутящего момента двигателя в среднем на 6,0% по отношению к исходному до обработки состоянию двигателя (табл. 2, 4, 10). Очевидно, это является следствием снижения мощности механических потерь, а также повышением газоплотности камеры сгорания двигателя, о чем свидетельствует рост компрессии в цилиндрах двигателя, зафиксированный по итогу испытаний (табл.7).
- Обработка двигателя нанокompозитом Amortect PROOF привела к определенному снижению содержания в отработавших газах токсических компонент оксида углерода CO (на 9,5%) и остаточных

углеводородов СН (на 7,4%), что, вероятно, объясняется снижением не топливной составляющей токсичности отработавших газов, вызванной угаром масла, а также определенной интенсификацией процесса сгорания из-за роста компрессии в цилиндрах. В то же время, такое улучшение неизбежно сопровождается ростом температуры сгорания в цилиндрах двигателя, что влечет за собой некоторый рост выхода оксидов азота NO_x. Однако этот рост на момент окончания испытаний не вышел за пределы погрешности измерения.

- Общее снижение токсичности отработавших газов на выходе из двигателя (до катализатора), отмеченное по итогу испытаний, снижает нагрузку на катализатор, что способствует увеличению ресурса этого узла двигателя. Какого-либо ухудшения качества работы катализатора по итогам обработки двигателя нанокompозитом Amortect PROFF не зафиксировано.

7. Выводы по результатам испытаний

На основании полного анализа всех результатов моторно-стендовых испытаний автомобильного бензинового двигателя семейства ВАЗ, обработанного нанокompозитом Amortect PROFF, можно сделать следующие выводы:

1. Испытаниями установлено положительное влияние обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect PROFF на основные технико-экономические и экологические показатели двигателя. По итогу двадцатичасового цикла испытаний были получены следующие эффекты:

- Снижение удельного расхода топлива в среднем за цикл испытаний на 6,9%;
- Увеличение эффективной мощности двигателя на 6,0%;
- Уменьшение содержания оксидов углерода СО в среднем за цикл испытаний на 9,5%, остаточных углеводородов – на 7,4%.

Полученные данные позволили сделать предположения о механизмах улучшения параметров двигателя в процессе обработки. Среди них следует выделить:

- Существенное снижение механических потерь в узлах трения двигателя, о чем свидетельствуют данные прямых замеров момента механических потерь двигателя и уменьшение температуры масла в поддоне. Это улучшение, очевидно, вызвано снижением сил трения в узлах двигателя (цилиндро - поршневой группе, подшипниках коленчатого и распределительного валов), связанным с улучшением геометрического микропрофиля поверхностей и улучшением трибологических характеристик пар трения двигателя (снижением коэффициентов трения и повышением износостойкости поверхностей). Кроме того, на снижение механических потерь влияет некоторое повышение давления масла в смазочной системе двигателя, зафиксированное по итогам испытаний;
- Повышением степени герметичности цилиндров двигателя, о чем свидетельствует рост компрессии по цилиндрам, зафиксированный по итогам обработки двигателя. Этот рост компрессии определяется факторами улучшения качества прилегания поршневых колец к стенкам цилиндров и частично – улучшением их подвижности. Помимо прямых замеров, это подтверждается фактом снижения токсичности отработавших газов по компонентам остаточных углеводородов СН, частично связанных с качеством уплотнения ЦПГ.

Следует отметить, что полученные данные были получены для конкретного двигателя, имеющего значительную степень износа. Очевидно, что итоговый эффект отработки двигателя нанокompозитом Amortect PROOF зависит от исходного состояния двигателя, степени его износа и загрязненности и, вследствие этого, может быть как меньше, так и больше указанных в Отчете величин. Кроме того, величина эффекта зависит от длительности обработки. Поэтому, возможно, следовало бы продолжить наработку двигателя на масле, содержащем нанокompозит более длительное время, сверх лимита моточасов обозначенного в Техническом задании, с целью выявления максимальной величины эффектов обработки.

Нарушений штатных параметров работы двигателя после обработки нанокompозитом Amortect Proof не выявлено.