

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./

«09» октября 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 дизельном двигателе КАМАЗ-740.10  
(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	5
4. Программа испытаний	7
5. Результаты испытаний	11
6. Анализ результатов испытаний	26
7. Выводы по результатам испытаний	33-35

## **1. Цель проведения работы**

Целью проведения настоящей работы является сравнительное экспериментальное исследование влияния обработки смазочной и топливной системы автомобильного дизельного двигателя КАМАЗ-740.10 нанокompозитом Amortect Proof производства Заказчика на комплекс моторных и экологических показателей дизеля.

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 дизельный двигатель КАМАЗ-740.10, работающий на полусинтетическом моторном масле Mobil Delvac SAE 15W-40. Масло приобреталось в магазине фирмы «Балткам», являющейся официальным дилером многих фирм-производителей моторного масла.

Двигатель подлежал последовательно двум стадиям обработки испытуемым нанокompозитом Amortect Proof – сначала нанокompозит вводился в систему смазывания путем его смешения с моторным маслом в заданной Заказчиком концентрации; по окончании этого цикла испытаний нанокompозит вводился в топливную систему двигателя путем его смешения с дизельным топливом. В ходе второй стадии испытаний была произведена смена моторного масла на новое, в результате чего нанокompозит Amortect PROOF был выведен из системы смазывания двигателя.

### 3. Описание испытательного стенда и измерительной аппаратуры

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

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.).

В состав стенда с двигателем КАМАЗ-740.10 входят:

- 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 с устройством для замера воздуха;
- система выпуска отработавших газов.

Стенд для испытания двигателя был оборудован гидротормозом MAW.

Управление двигателем и контроль работы систем установки осуществляется с дистанционного пульта управления.

Двигатель соединен с тормозной установкой при помощи эластичной муфты, обеспечивающего компенсацию несоосностей валов двигателя и тормоза.

Измерение частоты вращения коленчатого вала осуществлялось с помощью штатного тахометра.

Система охлаждения двигателя открытого типа, включающая в себя: рубашку охлаждения двигателя; центробежный насос с приводом от коленчатого вала; смеситель, трубопроводы подвода и отвода воды. Контроль за тепловым состоянием двигателя осуществляется с

помощью штатного датчика температуры охлаждающей жидкости, установленной в блоке цилиндров двигателя, информация от которого выводится на штатный указатель температуры на панели дистанционного управления двигателем.

Для смазывания двигателя используется штатная масляная система двигателя.

Топливная система включает в себя: топливный бак; топливopодкачивающий насос; расходомер топлива, позволяющий определять расход топлива весовым способом с точностью 0,5 %; соединительные трубопроводы; штатную систему топливopодачи двигателя. Управление положением рейки топливного насоса вынесено на пульт дистанционного управления двигателем.

Система выпуска отработавших газов представляет собой трубопровод большого диаметра, обеспечивающий малые потери давления на выпуске, а также включает вытяжную систему вентиляции испытательного бокса.

В процессе испытаний использовалось следующее измерительное оборудование:

## Сведения об измерительном оборудовании:

### Газoанализаторы:

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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...20%	4.12%	±2,5
Концентрация O <sub>2</sub>	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, %
<b>Основные показатели:</b>				
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	Штихпроберный электронный расходомер	Д-1	0.2...50.0	±0,5
<b>Средства измерения вспомогательных величин</b>				
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

Испытания проводятся в две фазы: последовательно с вводом препарата в масляную и топливную систему двигателя

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

#### **4.1 Оценка степени влияния нанокompозита Amortect Proof на основные показатели автомобильного дизельного двигателя при обработке смазочной системы**

Анализируется изменение в процессе обработки:

- мгновенного расхода топлива на фиксированных режимах работы двигателя (динамика изменения расхода топлива);
- мощности механических потерь (на основании замеров расхода топлива на режимах характеристики холостого хода);
- дымности и 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 КАМАЗ-740 с гидравлическим 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. Испытания двух форсунок на форсуночном стенде с анализом качества работы в начальном состоянии.

2. Пуск-прогрев двигателя, замер базовых показателей двигателя (частота вращения коленчатого вала, крутящий момент, мгновенный расход топлива, дымность и токсичность ОГ, давление масла, температура ОГ) на двух нагрузочных характеристиках при  $n=1300$  и  $1700$  об/мин (8...10 режимов замера) и на характеристике холостого хода при изменении частоты вращения коленчатого вала  $n=800...1600$  об/мин). Измерения проводятся на базовом дизельном топливе.

3. Обработка двигателя масляной компонентой нанокompозита Amortect PROOF по инструкции производителя препарата. Нарботка двигателя на фиксированном режиме работы 5 моточасов.

4. Замер показателей двигателя по программе п.2.



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

Общая продолжительность стендовых испытаний – 20 моточасов.

#### **4.2 Оценка степени влияния нанокompозита Amortect Proof на основные показатели автомобильного дизельного двигателя при обработке топливной системы**

Анализируется изменение в процессе обработки:

- мгновенного расхода топлива на фиксированных режимах работы двигателя (динамика изменения расхода топлива);
- дымности и токсичности отработавших газов (динамика изменения токсичности);
- степени восстановления изношенных пар трения элементов топливной аппаратуры (топливного насоса высокого давления, форсунок) на основании анализа работы топливной системы на безмоторном стенде.

Испытания проводятся на моторном стенде с двигателем КАМАЗ-740 с гидравлическим нагрузочным устройством и на безмоторном стенде проверки топливной аппаратуры Motorpal.

Двигатель предварительно прошел серию испытаний с обработкой масляной системы нанокompозитом Amortect PROOF.

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

11. Пуск-прогрев двигателя, замер базовых показателей двигателя (частота вращения коленчатого вала, крутящий момент, мгновенный расход топлива, дымность и токсичность ОГ, давление

масла, температура ОГ) на двух нагрузочных характеристиках при  $n=1300$  и  $1700$  об/мин (8...10 режимов замера). Измерения проводятся на базовом дизельном топливе.

12. Ввод в топливную систему двигателя топливной компоненты нанокompозита Amortect PROOF. Нарботка двигателя 5 моточасов на топливе с препаратом.

13. Снятие характеристик по программе п. 2.

14. Замена моторного масла, фильтрующих элементов масляных фильтров.

15. Нарботка двигателя 5 моточасов на фиксированном режиме на топливе, содержащем нанокompозит Amortect PROOF.

16. Снятие характеристик по программе п. 2.

17. Длительная нарботка двигателя на дизельном топливе, не содержащем нанокompозит (15 моточасов), с периодическим снятием характеристик двигателя по программе п.2.

18. Снятие итоговых характеристик двигателя по программе п.2.

19. Испытания топливной системы дизеля ЯМЗ-236 (топливного насоса высокого давления, форсунок) на безмоторном стенде Motorpal. Программа испытаний описана в соответствующем разделе отчета.

20. Обработка результатов испытаний, подготовка отчета по испытаниям.

Общая продолжительность стендовых испытаний – 25 моточасов.

## 5. Результаты испытаний

### 5.1 Результаты испытаний нанокompозита Amortect Proof при обработке смазочной системы автомобильного дизельного двигателя

Результаты первой фазы испытаний, на которой нанокompозит Amortect Proof вводился в моторное масло, сведены в табл. 1...2.1 и проиллюстрированы графиками на рис. 1...6.

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;

$\eta_e$  – эффективный к.п.д.;

$P_m$  – давление масла в системе смазывания;

$CO$  – содержание окиси углерода в отработавших газах двигателя;

$NO$  – содержание окиси азота в отработавших газах двигателя;

$CH$  – содержание остаточных углеводородов в отработавших газах.

Нагрузочная характеристика, $n=1300$ об/мин								
№ режима	$M_e$ , нм	$g_e$ , кг/кВтч	$\eta_e$	$CO$ , %	$CH$ , ppm	Дым, 1/м	$NO$ , ppm	$P_m$ , бар
<i>Базовые измерения (до обработки)</i>								
1	0,0	-	0,0	0,030	6	0,00	72	2,8
2	50,0	0,625	0,097	0,035	8	0,05	100	2,8
3	100,0	0,415	0,194	0,040	10	0,09	128	2,8
4	150,0	0,328	0,255	0,040	11	0,16	177	2,7
5	200,0	0,292	0,290	0,035	11	0,25	241	2,6
6	250,0	0,286	0,296	0,040	12	0,38	321	2,6
7	300,0	0,277	0,304	0,041	13	0,53	401	2,6
8	350,0	0,267	0,316	0,042	15	0,68	482	2,5
9	400,0	0,261	0,324	0,043	16	0,79	564	2,4
За цикл		<b>0,344</b>	<b>0,231</b>	<b>0,038</b>	<b>11,3</b>	<b>0,33</b>	<b>276</b>	<b>2,64</b>

<i>Через пять моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,030	7	0,05	80	2,8
2	50,0	0,614	0,100	0,036	9	0,15	116	2,8
3	100,0	0,406	0,200	0,041	11	0,26	142	2,7
4	150,0	0,330	0,251	0,040	11	0,31	176	2,7
5	200,0	0,292	0,289	0,039	13	0,38	228	2,6
6	250,0	0,283	0,300	0,040	13	0,48	300	2,6
7	300,0	0,278	0,304	0,041	14	0,59	372	2,6
8	350,0	0,262	0,322	0,042	15	0,72	448	2,6
9	400,0	0,245	0,345	0,043	17	0,84	521	2,5
За цикл		<b>0,339</b>	<b>0,234</b>	<b>0,039</b>	<b>12,2</b>	<b>0,42</b>	<b>264</b>	<b>2,66</b>
<i>Через десять моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,032	7	0,03	81	3,0
2	50,0	0,608	0,102	0,036	8	0,05	112	3,0
3	100,0	0,396	0,203	0,041	11	0,09	139	3,0
4	150,0	0,326	0,238	0,040	10	0,17	181	2,9
5	200,0	0,325	0,260	0,040	11	0,25	232	2,9
6	250,0	0,285	0,292	0,042	11	0,32	297	2,9
7	300,0	0,260	0,325	0,042	12	0,39	371	2,9
8	350,0	0,251	0,336	0,043	13	0,55	438	2,8
9	400,0	0,245	0,346	0,044	14	0,71	520	2,8
За цикл		<b>0,340</b>	<b>0,234</b>	<b>0,040</b>	<b>10,8</b>	<b>0,28</b>	<b>263</b>	<b>2,91</b>
<i>Через пятнадцать моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,032	6	0,02	76	3,2
2	50,0	0,595	0,113	0,036	7	0,04	110	3,2
3	100,0	0,386	0,219	0,041	8	0,10	142	3,2
4	150,0	0,313	0,264	0,040	8	0,16	141	3,1
5	200,0	0,281	0,301	0,040	9	0,18	188	3,1
6	250,0	0,266	0,316	0,042	10	0,26	237	3,0
7	300,0	0,258	0,328	0,044	11	0,34	380	3,0
8	350,0	0,251	0,335	0,044	12	0,49	441	2,9
9	400,0	0,249	0,340	0,046	14	0,65	531	2,9
За цикл		<b>0,325</b>	<b>0,246</b>	<b>0,041</b>	<b>9,4</b>	<b>0,25</b>	<b>249</b>	<b>3,1</b>
<i>Через двадцать моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,026	6	0,03	73	3,3
2	50,0	0,585	0,115	0,030	7	0,05	107	3,2
3	100,0	0,379	0,223	0,034	7	0,11	135	3,2
4	150,0	0,311	0,267	0,035	8	0,16	150	3,1
5	200,0	0,277	0,304	0,036	8	0,21	230	3,1
6	250,0	0,264	0,319	0,040	10	0,25	245	3,0
7	300,0	0,254	0,332	0,042	10	0,29	375	3,0
8	350,0	0,248	0,341	0,044	11	0,45	437	3,0

9	400,0	0,243	0,348	0,044	13	0,61	525	2,9
За цикл		<b>0,321</b>	<b>0,250</b>	<b>0,037</b>	<b>8,9</b>	<b>0,24</b>	<b>253</b>	<b>3,1</b>

**Табл. 1** Нагрузочные характеристики двигателя на разных стадиях испытаний нанокompозита Amortect Proof введенного в моторное масло, n=1300 об/мин.

Средние данные за цикл	ge, кг/кВтч	ηе	СО, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm	Рм, бар
Изменение через 20 моточасов за цикл (n=1300об/мин)/отклонение от базы, %	- 6,7	+ 8,2	- 2,6	- 21,2	- 27,3	- 8,3	+ 17,4

**Табл. 1.1** Усредненные результаты, замеренные при работе двигателя по нагрузочной характеристике двигателя на итоговой стадии испытаний нанокompозита Amortect Proof в смазочной системе, n=1300 об/мин.

Нагрузочная характеристика, n=1700 об/мин								
№ режима	Me, нм	ge, кг/кВтч	ηе	СО, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm	Рм, бар
<i>Базовые измерения (до обработки)</i>								
1	0,0	-	0,0	0,035	12	0,05	97	3,1
2	50,0	0,653	0,102	0,037	12	0,13	118	3,1
3	100,0	0,402	0,205	0,039	11	0,21	139	3,1
4	150,0	0,331	0,249	0,039	12	0,30	171	3,0
5	200,0	0,298	0,283	0,038	12	0,39	204	3,0
6	250,0	0,283	0,297	0,039	14	0,61	267	3,0
7	300,0	0,273	0,309	0,041	16	0,85	334	2,9
8	350,0	0,266	0,317	0,042	17	1,07	422	2,9
9	400,0	0,261	0,323	0,043	18	1,28	515	2,8
За цикл		<b>0,346</b>	<b>0,232</b>	<b>0,039</b>	<b>13,8</b>	<b>0,54</b>	<b>251</b>	<b>3,0</b>
<i>Через пять моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,038	13	0,05	104	3,2
2	50,0	0,641	0,101	0,039	13	0,18	124	3,2
3	100,0	0,405	0,202	0,039	13	0,28	139	3,2
4	150,0	0,326	0,254	0,040	12	0,35	168	3,1
5	200,0	0,287	0,295	0,041	12	0,45	194	3,1
6	250,0	0,277	0,304	0,041	14	0,77	262	3,1
7	300,0	0,270	0,313	0,041	16	0,94	340	3,0
8	350,0	0,260	0,325	0,042	17	1,25	419	3,0
9	400,0	0,250	0,339	0,045	20	1,52	508	3,0
За цикл		<b>0,340</b>	<b>0,237</b>	<b>0,041</b>	<b>14,4</b>	<b>0,64</b>	<b>251</b>	<b>3,1</b>

<i>Через десять моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,038	11	0,05	98	3,4
2	50,0	0,634	0,107	0,038	10	0,12	119	3,4
3	100,0	0,402	0,209	0,039	10	0,20	134	3,3
4	150,0	0,319	0,261	0,040	11	0,29	161	3,3
5	200,0	0,285	0,295	0,041	11	0,37	188	3,3
6	250,0	0,270	0,310	0,041	12	0,63	257	3,2
7	300,0	0,261	0,325	0,041	14	0,88	336	3,2
8	350,0	0,254	0,333	0,042	16	1,10	420	3,2
9	400,0	0,249	0,340	0,042	17	1,35	501	3,1
За цикл		<b>0,334</b>	<b>0,242</b>	<b>0,040</b>	<b>12,4</b>	<b>0,55</b>	<b>246</b>	<b>3,3</b>
<i>Через пятнадцать моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,032	9	0,03	99	3,5
2	50,0	0,629	0,109	0,035	9	0,11	115	3,5
3	100,0	0,395	0,213	0,039	10	0,19	131	3,5
4	150,0	0,316	0,266	0,039	10	0,27	155	3,5
5	200,0	0,279	0,301	0,040	10	0,37	184	3,4
6	250,0	0,268	0,315	0,040	11	0,61	247	3,4
7	300,0	0,259	0,329	0,042	14	0,84	331	3,4
8	350,0	0,251	0,339	0,043	14	1,02	417	3,3
9	400,0	0,243	0,349	0,044	15	1,17	511	3,3
За цикл		<b>0,330</b>	<b>0,247</b>	<b>0,039</b>	<b>11,3</b>	<b>0,51</b>	<b>243</b>	<b>3,4</b>
<i>Через двадцать моточасов после ввода Amortect Proof</i>								
1	0,0	-	0,0	0,032	9	0,05	92	3,5
2	50,0	0,618	0,111	0,034	9	0,08	117	3,5
3	100,0	0,389	0,218	0,037	10	0,11	141	3,5
4	150,0	0,307	0,271	0,036	11	0,20	176	3,5
5	200,0	0,276	0,306	0,034	11	0,32	216	3,4
6	250,0	0,267	0,320	0,034	13	0,53	281	3,4
7	300,0	0,256	0,333	0,034	14	0,75	345	3,4
8	350,0	0,246	0,344	0,036	14	0,92	420	3,3
9	400,0	0,240	0,354	0,039	15	1,06	502	3,3
За цикл		<b>0,325</b>	<b>0,251</b>	<b>0,035</b>	<b>11,8</b>	<b>0,45</b>	<b>254</b>	<b>3,4</b>

**Табл. 2** Нагрузочные характеристики двигателя на разных стадиях испытаний нанокompозита Amortect Proof введенного в моторное масло, n=1700 об/мин.

Средние данные за цикл	ge, кг/кВтч	$\eta_e$	CO, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm	Рм, бар
Изменение через 20 моточасов за цикл (n=1700об/мин)/отклонение от базы, %	- 6,1	+ 8,2	- 10,3	- 14,5	- 16,7	+ 1,2	+ 13,3

**Табл. 2.1** Усредненные результаты, замеренные при работе двигателя по нагрузочной характеристике двигателя на итоговой стадии испытаний нанокompозита Amortect Proof в смазочной системе, n=1700 об/мин.

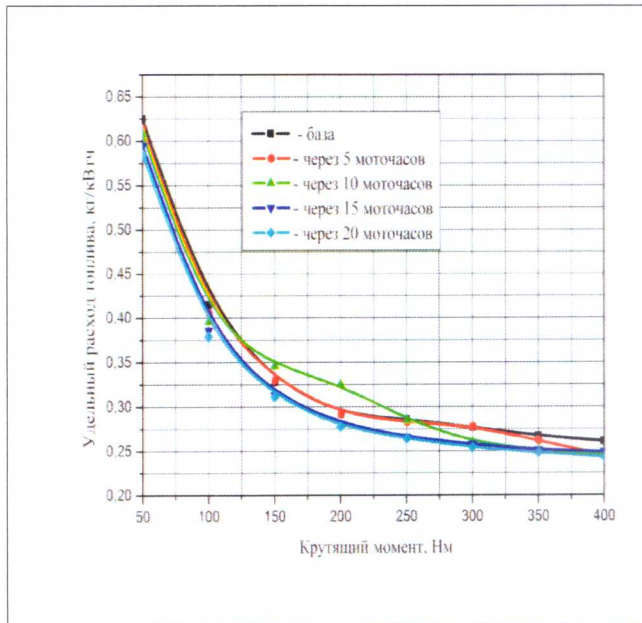


Рис.1 Изменение удельного расхода топлива при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1300 об/мин. Разные стадии обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

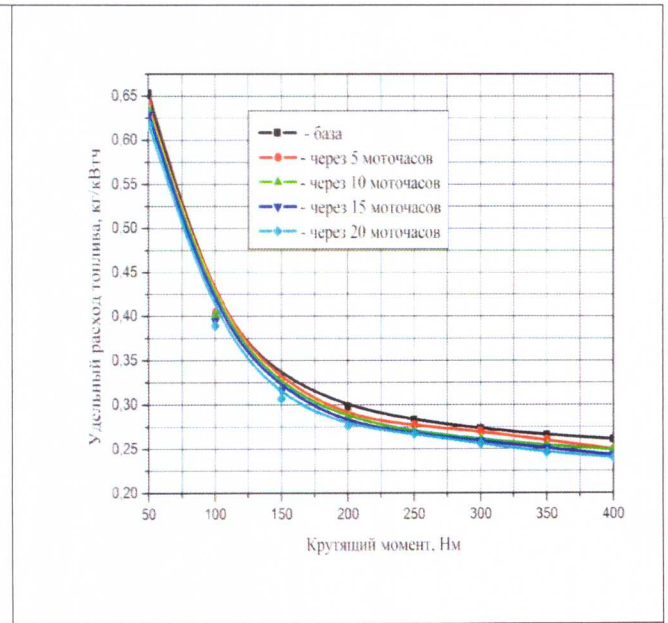


Рис.2 Изменение удельного расхода топлива при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1700 об/мин. Разные стадии обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

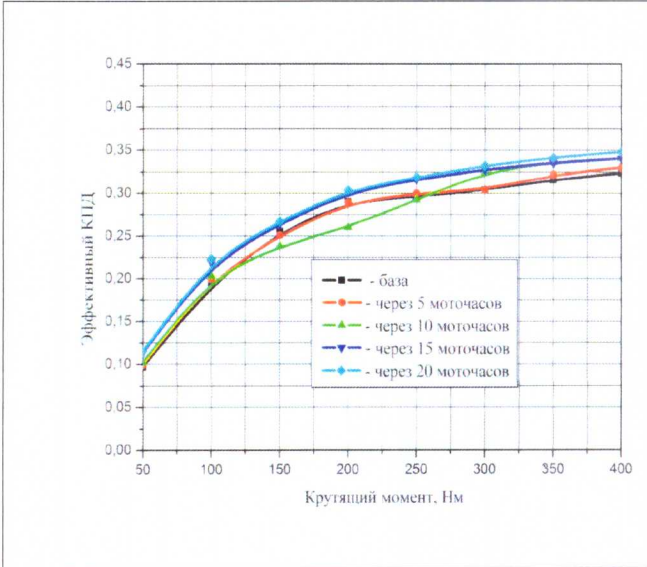


Рис.3 Изменение эффективного КПД при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1300 об/мин. Разные стадии обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

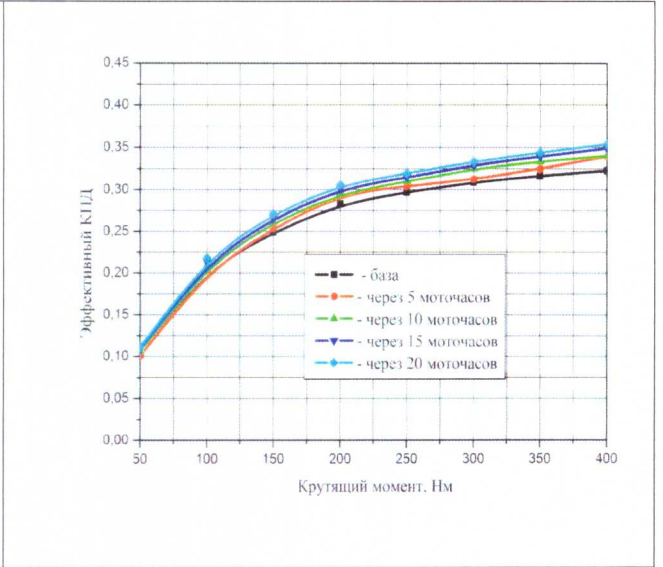


Рис.4 Изменение эффективного КПД при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1700 об/мин. Разные стадии обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

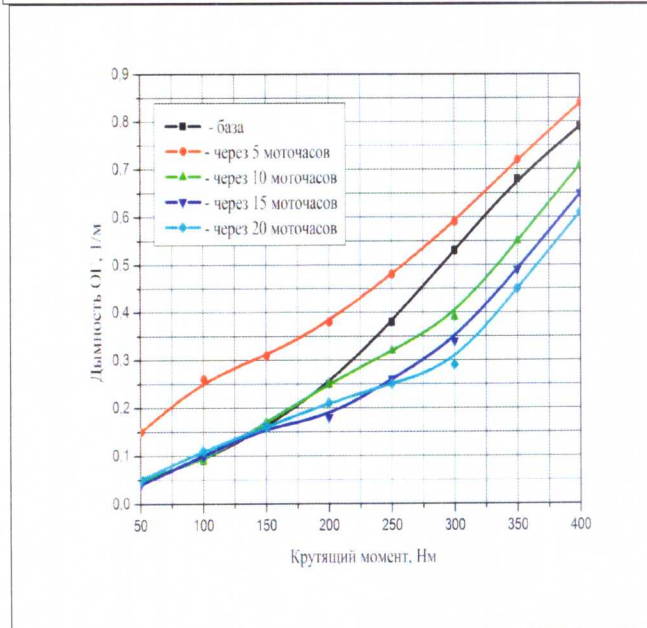


Рис.5 Изменение дымности отработавших газов при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1300 об/мин. Разные стадии обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

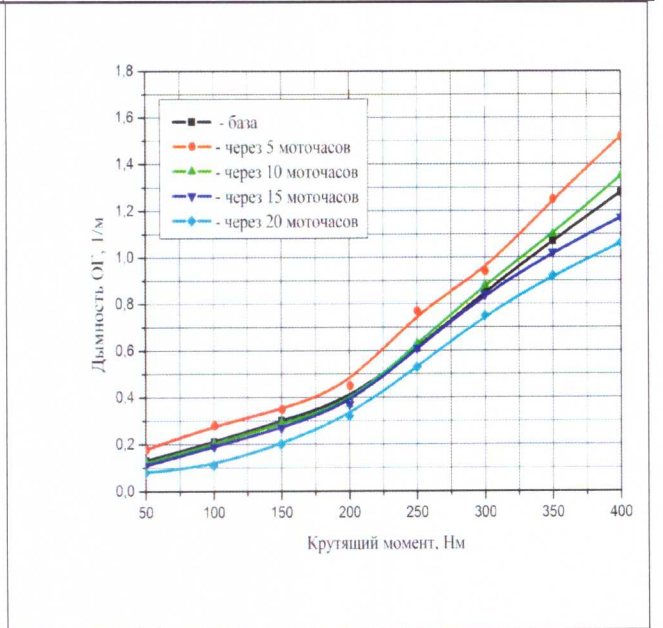


Рис.6 Изменение дымности отработавших газов при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1700 об/мин. Разные стадии обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

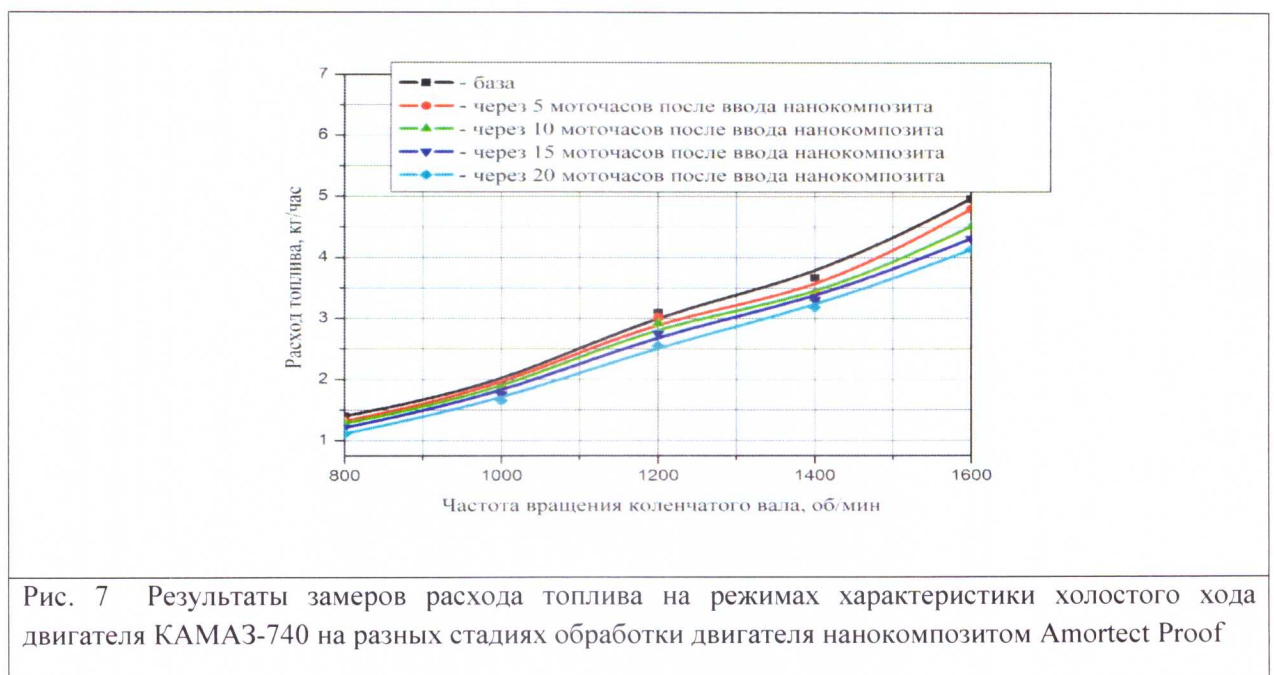
Результаты измерения расхода топлива двигателя на режимах характеристики холостого хода на разных стадиях обработки двигателя



нанокompозитом Amortect Proof, сведены в табл. 3 и проиллюстрированы графиком на рис.7.

Режим, об/мин	Часовой расход топлива на режиме холостого хода. Гт, кг/час					
	Базовый режим	Через 5 моточасов после обработки	Через 10 моточасов после обработки	Через 15 моточасов после обработки	Через 20 моточасов после обработки	Изменение через 20 моточасов за цикл/отклонение от базы, %
800	1,40	1,32	1,28	1,21	1,11	20,7
1000	1,91	1,87	1,81	1,76	1,65	13,6
1200	3,10	3,02	2,92	2,75	2,55	17,7
1400	3,67	3,42	3,33	3,31	3,18	13,4
1600	4,96	4,80	4,51	4,31	4,13	16,7

**Табл. 3** Результаты замеров расхода топлива на режимах характеристики холостого хода двигателя КАМАЗ-740 на разных стадиях обработки двигателя 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. 4 и проиллюстрированы гистограммами на рис. 8, 9.

Номер цилиндра	До обработки		После обработки	
	Левый блок	Правый блок	Левый блок	Правый блок
1	25	25	26	28
2	24	26	25	26
3	26	27	26	28
4	23	26	24	29

**Табл. 4** Результаты замера условного давления конца сжатия (компрессии) по цилиндрам двигателя КАМАЗ-740 до и после обработки двигателя нанокompозитом Amortect Proof

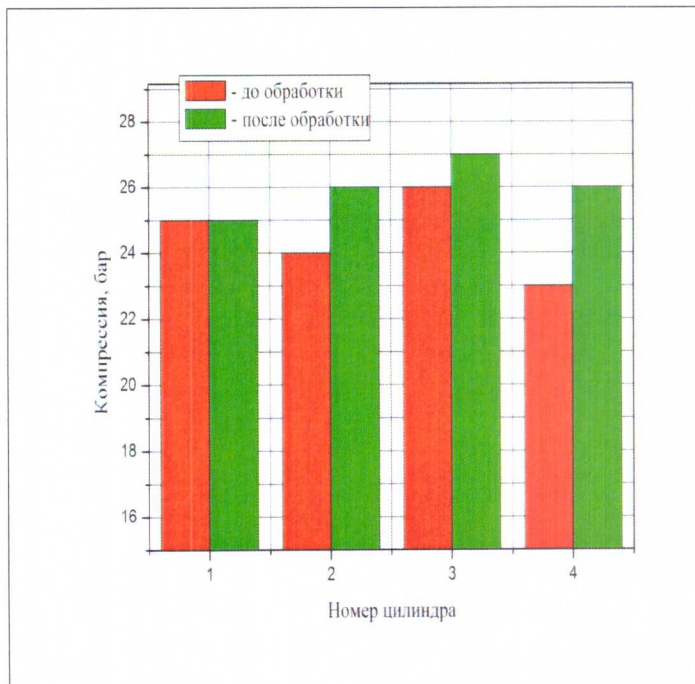


Рис.8 Результаты замера условного давления конца сжатия (компрессии) по цилиндрам левого блока двигателя КАМАЗ-740 до и после обработки двигателя нанокompозитом Amortect Proof

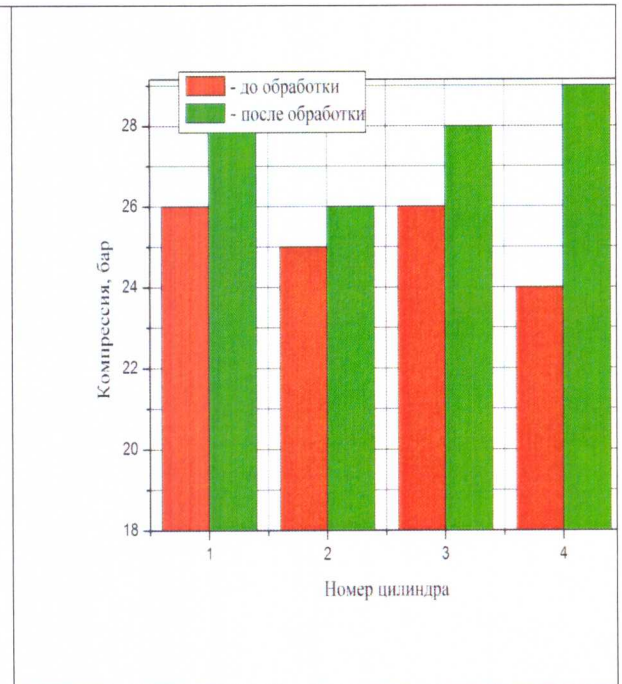


Рис.9 Результаты замера условного давления конца сжатия (компрессии) по цилиндрам правого блока двигателя КАМАЗ-740 до и после обработки двигателя нанокompозитом Amortect Proof

Анализ результатов первой серии испытаний будет проведен ниже.

Результаты второго этапа испытаний, на котором нанокompозит Amortect Proof вводился в дизельное топливо, приведены ниже.

## **5.2 Результаты испытаний нанокompозита Amortect Proof при обработке топливной системы автомобильного дизельного двигателя**

Результаты испытаний сведены в табл. 5, 6 и проиллюстрированы графиками на рис. 1.1...8.1.

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;

$\eta_e$  – эффективный к.п.д.;

$P_m$  – давление масла в системе смазывания;

$CO$  – содержание окиси углерода в отработавших газах двигателя;

$NO$  – содержание окиси азота в отработавших газах двигателя;

$CH$  – содержание остаточных углеводородов в отработавших газах.

На основании данных, сведенных в табл. 5...6 были рассчитаны усредненные значения всех измеряемых параметров за цикл испытаний и величины относительного отклонения их (эффекты, выраженные в процентах) от замеренных на базовом цикле испытаний. Эти данные сведены в табл. 5.1, 6.1

Нагрузочная характеристика, n=1300 об/мин								
№ режима	Me, нм	ge, кг/кВтч	ηе	СО, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm	Рм, бар
<i>Базовые измерения до ввода Amortect Proof в топливо</i>								
1	0,0	-	0,0	0,026	8	0,03	73	3,3
2	50,0	0,585	0,115	0,030	10	0,07	107	3,2
3	100,0	0,379	0,223	0,034	12	0,11	135	3,2
4	150,0	0,311	0,267	0,035	12	0,16	150	3,1
5	200,0	0,277	0,304	0,036	12	0,21	230	3,1
6	250,0	0,264	0,319	0,040	12	0,25	245	3,0
7	300,0	0,254	0,332	0,042	13	0,29	375	3,0
8	350,0	0,248	0,341	0,044	14	0,45	437	3,0
9	400,0	0,243	0,348	0,044	15	0,61	525	2,9
За цикл		<b>0,321</b>	<b>0,250</b>	<b>0,037</b>	<b>12,0</b>	<b>0,24</b>	<b>253</b>	<b>3,1</b>
<i>Через пять моточасов после ввода Amortect Proof в топливо</i>								
1	0,0	-	0,0	0,025	10	0,04	71	3,3
2	50,0	0,583	0,114	0,028	11	0,08	109	3,2
3	100,0	0,379	0,222	0,035	14	0,14	134	3,2
4	150,0	0,308	0,269	0,035	14	0,19	153	3,2
5	200,0	0,275	0,307	0,035	13	0,22	227	3,1
6	250,0	0,262	0,321	0,041	13	0,27	245	3,1
7	300,0	0,253	0,334	0,041	14	0,32	377	3,0
8	350,0	0,246	0,343	0,043	15	0,47	440	3,0
9	400,0	0,242	0,350	0,043	17	0,66	531	2,9
За цикл		<b>0,319</b>	<b>0,251</b>	<b>0,036</b>	<b>13,4</b>	<b>0,27</b>	<b>254</b>	<b>3,1</b>
<i>Через пять моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла</i>								
1	0,0	-	0,0	0,026	11	0,05	70	3,4
2	50,0	0,587	0,113	0,028	12	0,08	105	3,4
3	100,0	0,376	0,224	0,034	14	0,15	136	3,3
4	150,0	0,306	0,270	0,034	15	0,21	157	3,3
5	200,0	0,272	0,311	0,035	14	0,24	221	3,2
6	250,0	0,260	0,324	0,040	13	0,27	241	3,2
7	300,0	0,253	0,335	0,041	15	0,33	372	3,1
8	350,0	0,246	0,343	0,043	16	0,48	446	3,2
9	400,0	0,241	0,353	0,044	17	0,70	526	3,0
За цикл		<b>0,318</b>	<b>0,253</b>	<b>0,036</b>	<b>14,1</b>	<b>0,28</b>	<b>253</b>	<b>3,2</b>

<b>Нагрузочная характеристика, n=1300 об/мин (продолжение таблицы)</b>								
<i>Через десять моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла (на топливе без нанокompозита)</i>								
1	0,0	-	0,0	0,027	7	0,03	75	3,4
2	50,0	0,575	0,117	0,027	8	0,08	109	3,4
3	100,0	0,381	0,225	0,032	10	0,10	139	3,4
4	150,0	0,302	0,272	0,035	11	0,15	150	3,3
5	200,0	0,276	0,316	0,035	11	0,20	228	3,3
6	250,0	0,259	0,328	0,039	11	0,22	251	3,2
7	300,0	0,249	0,341	0,041	11	0,27	381	3,2
8	350,0	0,242	0,348	0,042	12	0,43	442	3,1
9	400,0	0,239	0,354	0,043	14	0,60	530	3,1
За цикл		<b>0,316</b>	<b>0,255</b>	<b>0,036</b>	<b>10,6</b>	<b>0,23</b>	<b>256</b>	<b>3,3</b>
<i>Через пятнадцать моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла (на топливе без нанокompозита)</i>								
1	0,0	-	0,0	0,028	7	0,03	74	3,4
2	50,0	0,569	0,119	0,028	7	0,07	111	3,4
3	100,0	0,379	0,228	0,031	9	0,09	134	3,3
4	150,0	0,298	0,281	0,034	10	0,12	142	3,3
5	200,0	0,272	0,321	0,034	11	0,18	232	3,3
6	250,0	0,256	0,332	0,038	11	0,20	244	3,2
7	300,0	0,250	0,338	0,039	11	0,25	376	3,2
8	350,0	0,242	0,348	0,040	11	0,39	419	3,2
9	400,0	0,237	0,358	0,042	12	0,57	521	3,1
За цикл		<b>0,313</b>	<b>0,256</b>	<b>0,035</b>	<b>9,9</b>	<b>0,21</b>	<b>250</b>	<b>3,3</b>
<i>Через двадцать моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла (на топливе без нанокompозита)</i>								
1	0,0	-	0,0	0,027	7	0,02	76	3,4
2	50,0	0,572	0,115	0,027	8	0,08	112	3,4
3	100,0	0,379	0,228	0,030	8	0,10	131	3,4
4	150,0	0,297	0,282	0,033	10	0,14	146	3,3
5	200,0	0,275	0,323	0,033	10	0,19	236	3,3
6	250,0	0,257	0,331	0,039	11	0,23	257	3,3
7	300,0	0,249	0,340	0,039	11	0,26	384	3,2
8	350,0	0,240	0,352	0,041	12	0,40	422	3,2
9	400,0	0,235	0,361	0,043	13	0,58	519	3,2
За цикл		<b>0,313</b>	<b>0,256</b>	<b>0,035</b>	<b>10,0</b>	<b>0,22</b>	<b>254</b>	<b>3,3</b>

**Табл. 5** Нагрузочные характеристики двигателя на разных стадиях испытаний нанокompозита Amortect Proof, введенного в топливо, n=1300 об/мин.  
(дополнительная серия испытаний)

Средние данные за цикл	ge, кг/кВтч	$\eta$ e	CO, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm	Рм, бар
Изменение через 20 моточасов за цикл (n=1300об/мин)/отклонение от базы, %	- 2,5	+ 2,4	- 5,4	- 16,7	- 8,3	+ 0,4	+ 6,5

**Табл. 5.1** Усредненные эффекты использования нанокompозита Amortect Proof в качестве присадки к топливу. Усредненные результаты, замеренные при работе двигателя по нагрузочной характеристике двигателя на итоговой стадии испытаний нанокompозита Amortect Proof, n=1300 об/мин.

<b>Нагрузочная характеристика, n=1700 об/мин</b>								
№ режима	Me, нм	ge, кг/кВтч	$\eta$ e	CO, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm	Рм, бар
<i>Базовые измерения до ввода Amortect Proof в топливо</i>								
1	0,0	-	0,0	0,032	9	0,05	92	3,5
2	50,0	0,618	0,111	0,034	9	0,08	117	3,5
3	100,0	0,389	0,218	0,037	10	0,11	141	3,5
4	150,0	0,307	0,271	0,036	11	0,20	176	3,5
5	200,0	0,276	0,306	0,034	11	0,32	216	3,4
6	250,0	0,267	0,320	0,034	13	0,53	281	3,4
7	300,0	0,256	0,333	0,034	14	0,75	345	3,4
8	350,0	0,246	0,344	0,036	14	0,92	420	3,3
9	400,0	0,240	0,354	0,039	15	1,06	502	3,3
За цикл		<b>0,325</b>	<b>0,251</b>	<b>0,035</b>	<b>11,8</b>	<b>0,45</b>	<b>254</b>	<b>3,4</b>
<i>Через пять моточасов после ввода Amortect Proof в топливо</i>								
1	0,0	-	0,0	0,032	11	0,07	93	3,5
2	50,0	0,621	0,108	0,033	11	0,10	119	3,5
3	100,0	0,394	0,215	0,036	12	0,15	145	3,5
4	150,0	0,307	0,272	0,035	13	0,22	174	3,5
5	200,0	0,272	0,308	0,035	15	0,34	216	3,5
6	250,0	0,260	0,322	0,034	15	0,57	285	3,4
7	300,0	0,252	0,336	0,033	16	0,78	346	3,4
8	350,0	0,244	0,347	0,035	17	0,94	417	3,4
9	400,0	0,237	0,357	0,038	19	1,11	509	3,3
За цикл		<b>0,324</b>	<b>0,252</b>	<b>0,035</b>	<b>14,3</b>	<b>0,47</b>	<b>256</b>	<b>3,4</b>
<i>Через пять моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла</i>								
1	0,0	-	0,0	0,031	12	0,08	99	3,6
2	50,0	0,618	0,110	0,032	12	0,10	122	3,6
3	100,0	0,390	0,216	0,035	13	0,16	152	3,6
4	150,0	0,304	0,273	0,035	15	0,24	180	3,5

5	200,0	0,270	0,310	0,035	15	0,36	221	3,5
6	250,0	0,258	0,324	0,034	16	0,60	282	3,5
7	300,0	0,248	0,341	0,034	17	0,81	352	3,4
8	350,0	0,242	0,350	0,035	18	0,92	420	3,4
9	400,0	0,235	0,360	0,038	20	1,06	512	3,4
За цикл		<b>0,321</b>	<b>0,254</b>	<b>0,034</b>	<b>15,3</b>	<b>0,48</b>	<b>260</b>	<b>3,5</b>

*Через десять моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла (на топливе без нанокompозита)*

1	0,0	-	0,0	0,033	10	0,06	94	3,6
2	50,0	0,618	0,110	0,033	10	0,09	115	3,6
3	100,0	0,388	0,217	0,035	11	0,11	138	3,6
4	150,0	0,302	0,275	0,036	11	0,21	172	3,6
5	200,0	0,271	0,310	0,035	12	0,33	214	3,6
6	250,0	0,259	0,326	0,035	13	0,56	285	3,5
7	300,0	0,246	0,343	0,035	14	0,78	339	3,5
8	350,0	0,239	0,354	0,036	15	0,90	412	3,4
9	400,0	0,233	0,363	0,038	15	1,02	506	3,4
За цикл		<b>0,320</b>	<b>0,256</b>	<b>0,035</b>	<b>12,3</b>	<b>0,45</b>	<b>253</b>	<b>3,5</b>

*Через пятнадцать моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла (на топливе без нанокompозита)*

1	0,0	-	0,0	0,032	9	0,05	97	3,6
2	50,0	0,615	0,113	0,032	9	0,08	117	3,6
3	100,0	0,382	0,222	0,034	11	0,10	132	3,6
4	150,0	0,304	0,271	0,035	11	0,18	165	3,5
5	200,0	0,269	0,312	0,035	12	0,30	210	3,5
6	250,0	0,257	0,330	0,035	12	0,52	281	3,5
7	300,0	0,248	0,340	0,036	13	0,74	335	3,4
8	350,0	0,237	0,356	0,037	14	0,88	409	3,4
9	400,0	0,230	0,367	0,037	15	1,02	510	3,4
За цикл		<b>0,318</b>	<b>0,257</b>	<b>0,035</b>	<b>11,8</b>	<b>0,43</b>	<b>251</b>	<b>3,5</b>

*Через двадцать моточасов после дополнительного ввода Amortect Proof в топливо и смены масла (на топливе без нанокompозита)*

1	0,0	-	0,0	0,032	8	0,04	95	3,6
2	50,0	0,616	0,112	0,033	9	0,08	119	3,6
3	100,0	0,384	0,219	0,033	10	0,09	136	3,6
4	150,0	0,302	0,273	0,034	11	0,16	170	3,6
5	200,0	0,264	0,320	0,035	11	0,27	214	3,5
6	250,0	0,257	0,330	0,036	12	0,50	285	3,5
7	300,0	0,247	0,341	0,036	12	0,71	339	3,5
8	350,0	0,239	0,355	0,037	13	0,90	412	3,4
9	400,0	0,233	0,364	0,038	15	1,06	534	3,4
За цикл		<b>0,318</b>	<b>0,257</b>	<b>0,035</b>	<b>11,2</b>	<b>0,42</b>	<b>256</b>	<b>3,5</b>

**Табл. 6** Нагрузочные характеристики двигателя на разных стадиях испытаний нанокompозита Amortect Proof, введенного в топливо, n=1700 об/мин. (дополнительная серия испытаний)

Средние данные за цикл	ge, кг/кВтч	ηе	СО, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm	Рм, бар
Изменение через 20 моточасов за цикл (n=1700об/мин)/отклонение от базы,%	- 2,2	+ 2,4	0,0	- 5,1	- 6,7	+ 0,8	+ 2,9

**Табл. 6.1** Усредненные эффекты использования нанокompозита Amortect Proof в качестве присадки к топливу. Усредненные результаты, замеренные при работе двигателя по нагрузочной характеристике двигателя на итоговой стадии испытаний нанокompозита Amortect Proof, n=1700 об/мин.

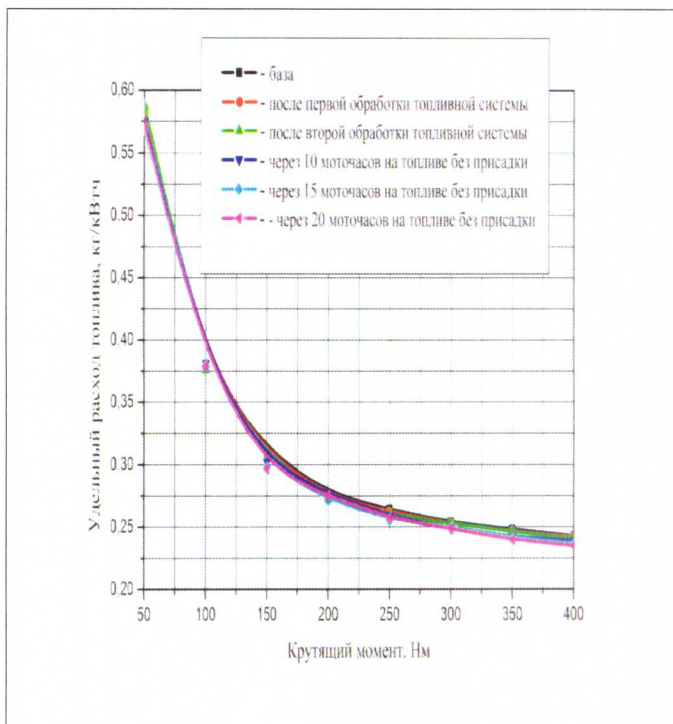


Рис.1.1 Изменение удельного расхода топлива при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1300 об/мин. Разные стадии обработки топливной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

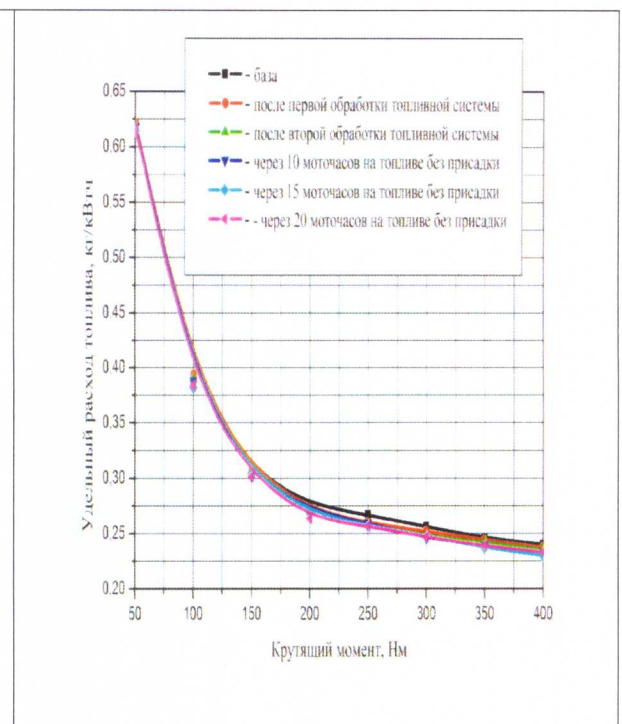


Рис.2.1 Изменение удельного расхода топлива при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике, n=1700 об/мин. Разные стадии обработки топливной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.



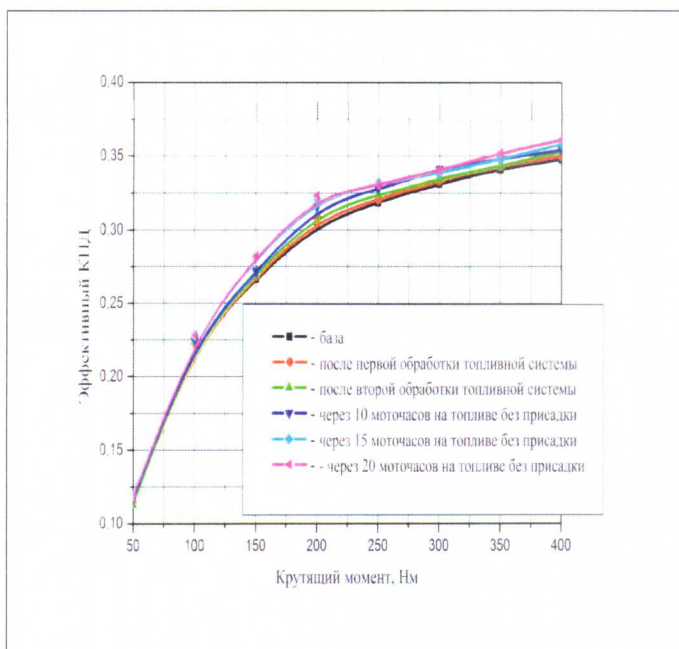


Рис.3.1 Изменение эффективного КПД при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике,  $n=1300$  об/мин. Разные стадии обработки топливной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

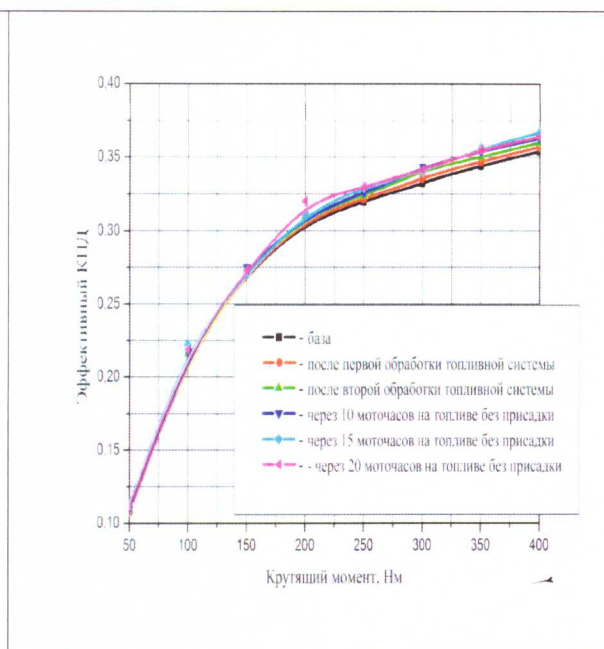


Рис.4.1 Изменение эффективного КПД при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике,  $n=1700$  об/мин. Разные стадии обработки топливной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

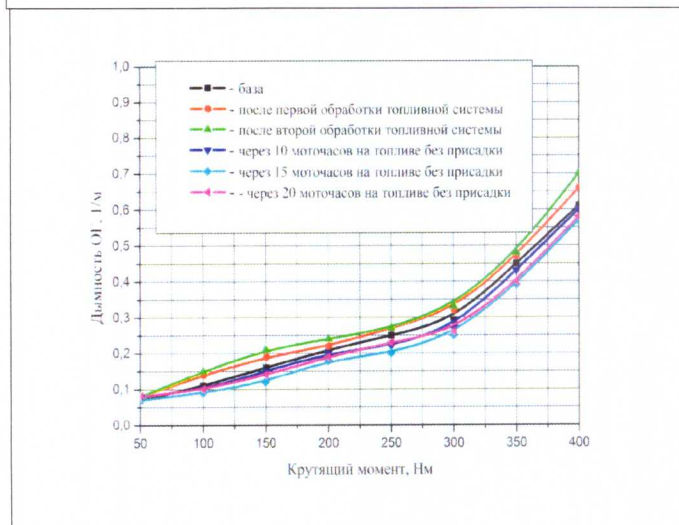


Рис.5.1 Изменение дымности отработавших газов при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике,  $n=1300$  об/мин. Разные стадии обработки топливной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.

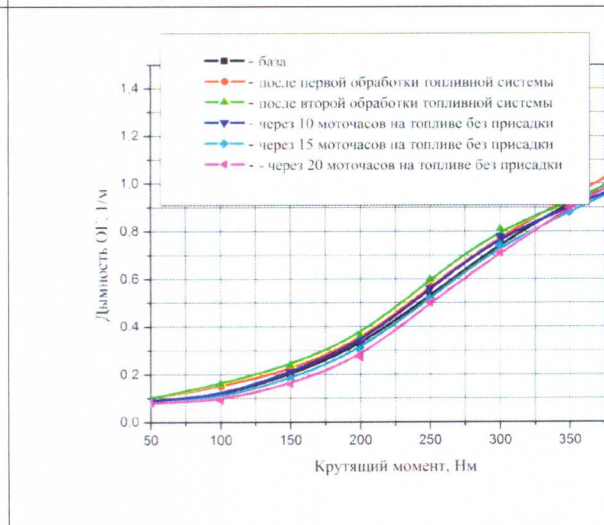
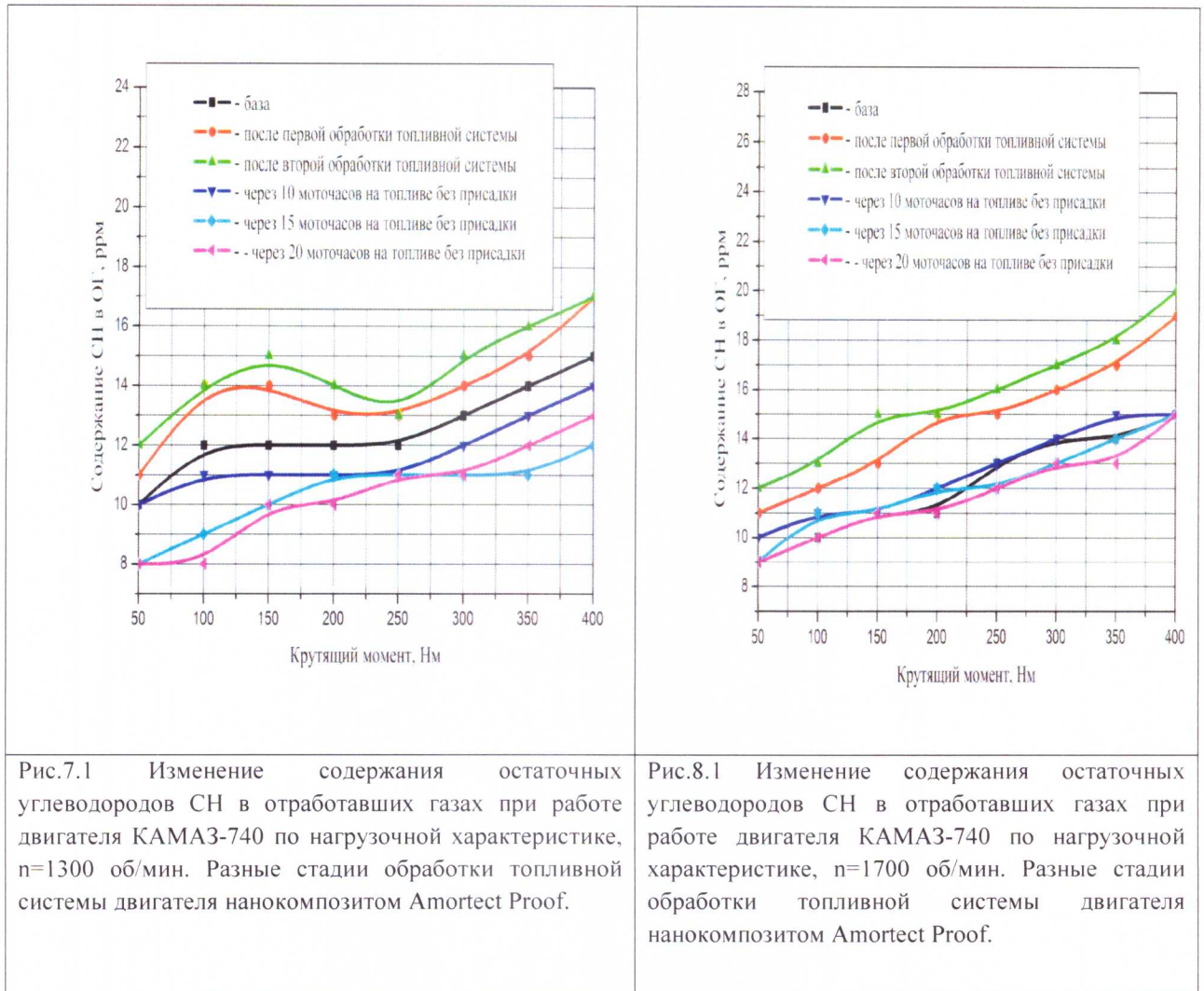


Рис.6.1 Изменение дымности отработавших газов при работе двигателя КАМАЗ-740 по нагрузочной характеристике,  $n=1700$  об/мин. Разные стадии обработки топливной системы двигателя нанокompозитом Amortect Proof.



## 6. Анализ результатов испытаний

### 6.1 Анализ результатов испытаний нанокompозита Amortect Proof при обработке смазочной системы автомобильного дизельного двигателя

Для количественной оценки полученных эффектов были рассчитаны усредненные эффекты добавления в масло нанокompозита, полученные на различных этапах испытаний (табл. 7). 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.

Средние данные за цикл	ge, кг/кВтч	Эффект. КПД	СО, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm
Базовый замер	0,345	0,232	0,039	12,6	0,44	263
После обработки, через 5 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы,%	0,340 -1,4	0,235 1,3	0,040 2,5	13,3 5,6	0,53 20,5	258 -1,9
После обработки, через 10 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы,%	0,337 -2,3	0,238 2,6	0,040 2,5	11,6 -7,9	0,42 -4,5	254 -3,4
После обработки, через 15 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы,%	0,328 -4,9	0,246 6,0	0,040 2,5	10,4 -17,5	0,38 -13,6	246 -6,5
После обработки, через 20 моточасов, среднее за цикл/отклонение от базы,%	0,323 -6,4	0,250 7,8	0,036 -7,7	10,4 -17,5	0,35 -20,5	254 -3,4

**Табл. 7** Средние за цикл испытаний результаты замеров и расчет относительных эффектов, полученных после обработки двигателя КАМАЗ-740.10 нанокompозитом Amortect Proof (масляная компонента) на разных стадиях испытаний.

Таким образом, по итогу испытаний было получено снижение удельного расхода топлива на 6,4%, рост эффективного КПД на 7,8%, уменьшение дымности отработавших газов на 20,5%, содержания остаточных углеводородов СН – на 17,5%, содержания оксидов углерода СО – на 7,7% и изменение азота NOx – на 3,4%.

- Полученные результаты изменения давления масла в двигателе свидетельствуют о существенном улучшении условий работы подшипников коленчатого вала после его обработки нанокompозитом Amortect Proof, что очевидно, является следствием улучшения качества рабочих поверхностей подшипников (табл. 1).
- Подтверждается вывод о благоприятном влиянии обработки двигателя нанокompозитом Amortect Proof на показатели работы узлов трения дизеля. Особо заметен рост величины механического к.п.д. в зоне

малых нагрузок на **8,2 %**, где доля потерь трения в общем балансе мощности двигателя наиболее велика. Это приводит к существенному повышению эффекта снижения удельного расхода топлива в зоне малых и средних нагрузок на **6,1...6,7%**, характерных для городского цикла эксплуатации автомобиля (**табл.1, табл.2, табл.7, рис.1, рис. 2**).

- Замеры расхода топлива на режимах характеристики холостого хода выявляют существенное его снижение на **13,4...20,7%** (**табл. 3, рис. 7**) по итогу длительной работы двигателя на моторном масле, содержащем нанокompозит Amortect Proof. Этот результат прямо свидетельствует об аналогичном уменьшении мощности механических потерь в двигателе, поскольку на режимах холостого хода (с нулевой нагрузкой) все использованное топливо идет только на преодоление механических потерь. Этот фактор объясняет уменьшение удельного расхода топлива на режимах эксплуатационного цикла испытаний. В пересчете на среднестатистический цикл эксплуатации большегрузного автомобиля, **полная экономия топлива может составить 8...14%**;
- Отмеченные выше факторы (снижение механических потерь, рост компрессии) позволяет предполагать наличие аналогичного эффекта роста мощности и крутящего момента двигателя, ориентировочно на **4...6%** в зависимости от режима работы двигателя;
- Некоторое обеднение топливовоздушной смеси, необходимое для достижения эквивалентной мощности двигателя, отмеченное после обработки двигателя, способствует существенному (до **16...27%**) снижению дымности отработавших газов. Кроме того, уменьшение дымности, очевидно связано с улучшением уплотнения ЦПГ, о чем свидетельствует рост компрессии.
- На начальном этапе обработки наблюдается некоторое ухудшение параметров рабочего процесса, выражающееся в увеличении дымности отработавших газов, содержания в нем остаточных углеводородов и некотором росте удельного расхода топлива (**табл.7**). По мере дальнейшей наработки двигателя на моторном масле, содержащем нанокompозит Amortect Proof, наблюдается улучшение

параметров двигателя, при этом проявляется положительный эффект обработки, нарастающий по мере увеличения времени испытаний. К моменту окончания испытаний (20 моточасов) стабилизации эффекта не наблюдалось, он продолжал расти.

## **6.2 Анализ результатов испытаний нанокompозита Amortect Proof при обработке смазочной системы автомобильного дизельного двигателя**

Полученные результаты при добавлении нанокompозита Amortect Proof в топливную систему выявляют наличие двух стадий работы препарата:

- Начальная стадия, при которой наблюдается определенное увеличение дымности отработавших газов и содержания остаточных углеводородов в отработавших газах. При этом снижение расхода топлива на этом участке незначительно. Следует отметить, что похожая динамика работы препаратов наблюдается при испытаниях моющих присадок к дизельным топливам, при этом на начальном участке может фиксироваться даже определенное ухудшение качества сгорания. Это объясняется развитием на этом участке процесса очистки камеры сгорания и топливной системы. В случае использования нанокompозита Amortect PROOF, возможно, сказывается ввод в дизельное топливо определенного количества носителя нанокompозита – масла, ухудшающего групповой и фракционный состав дизельного топлива, обработанного нанокompозитом.
- Стадия стабилизации и улучшения параметров двигателя, начинаемая с момента перехода на работу на чистом топливе. На этой стадии наблюдается постепенное снижение расхода топлива, дымности и токсичности отработавших газов по компоненте остаточных углеводородов СН на уровень, заметно ниже замеренного на базовом цикле испытаний. Объясняется это может улучшением параметров впрыска и частичным восстановлением штатных параметров работы топливной аппаратуры, а также в нашем случае (последовательной обработке нанокompозитом смазочной и топливной систем двигателя), при которой остается остаточный эффект первой стадии обработки.

Для количественной оценки полученных эффектов были рассчитаны усредненные эффекты добавления в дизельное топливо вышеупомянутого нанокompозита, полученные на различных этапах испытаний (табл. 8). 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	ge, кг/кВтч	Эффект. КПД	CO, %	СН, ppm	Дым, 1/м	NO, ppm
Базовый замер (после обработки масляной системы)	0,323	0,250	0,036	11,9	0,35	254
После обработки, через 5 моточасов после доп.ввода в топливо на чистом масле, среднее за цикл/отклонение от базы, %	0,319	0,253	0,035	14,7	0,38	256
	-1,2	1,2	-2,8	23,5	8,6	0,8
После обработки, через 10 моточасов после доп.ввода в топливо на чистом масле, среднее за цикл/отклонение от базы, %	0,317	0,256	0,035	11,4	0,34	254
	-1,9	2,4	-2,8	-4,2	-2,9	0,0
После обработки, через 15 моточасов после доп.ввода в топливо на чистом масле, среднее за цикл/отклонение от базы, %	0,315	0,257	0,035	10,8	0,32	251
	-2,5	2,8	-2,8	-9,2	-8,6	-1,2
После обработки, через 20 моточасов после доп.ввода в топливо на чистом масле, среднее за цикл/отклонение от базы, %	0,315	0,258	0,035	10,6	0,32	254
	-2,5	3,2	-2,8	-10,9	-8,6	0,0

**Табл. 8** Средние за цикл испытаний результаты замеров и расчет относительных эффектов, полученных после обработки двигателя КАМАЗ-740.10 нанокompозитом Amortect Proof (топливная компонента) на разных стадиях испытаний.

Таким образом, по итогу испытаний было получено снижение удельного расхода топлива на 2,5%, рост эффективного КПД на 3,2%, уменьшение дымности отработавших газов на 8,6%, содержания остаточных углеводородов СН – на 10,9%, содержания оксидов углерода СО – на 2,8% и изменение азота NO<sub>x</sub> остается в пределах погрешности измерения

### **6.3 Оценка производительности ТНВД дизельного двигателя до и после обработки топливной системы нанокompозитом Amortect Proof**

Данный фрагмент испытаний проводился дополнительно к программе испытаний, предписанной Техническим Задаaniem. Цель испытаний – количественная оценка изменения производительности секций топливного насоса высокого давления, после длительной работы двигателя на дизельном топливе с нанокompозитом Amortect Proof.

Испытания проводились на стенде Motorpal, предназначенном для испытания топливной аппаратуры с ТНВД традиционного типа. Стенд отвечает техническим требованиям нормативных документов: ГОСТ 10578-96 «Насосы топливные дизелей. Общие технические условия» и Международного стандарта ИСО 4008/1 «Транспорт дорожный. Испытание топливных насосов высокого давления».

Основные характеристики топливной аппаратуры, определяемые на стенде, это величина и равномерность подачи топлива секциями ТНВД (производительность насосных секций). Поскольку испытаниям подлежит топливная аппаратура в сборе (ТНВД, трубопроводы высокого давления и форсунки), то указанные параметры характеризуют техническое состояние топливной аппаратуры в целом.

На стенде установлен ТНВД ЯМЗ-236, 6-ти секционный (две секции в испытаниях не использовались).

Методика испытаний заключается в снятии внешней скоростной характеристики подачи (рейка ТНВД на максимальном упоре) в диапазоне от 500 до 1100 об/мин по валу ТНВД. Измерению подлежит объемная подача каждой секцией насоса за 100 рабочих ходов плунжеров.

При выполнении сравнительного анализа расходных характеристик топливной системы (при испытаниях влияния нанокompозита Amortect Proof на характеристики работы топливной

системы) анализируется изменение объемной подачи каждой форсунки до и после серии моторных испытаний.

Методика испытаний включала в себя:

- снятие внешней скоростной характеристики ТНВД на чистом топливе до обработки топливной системы нанокompозитом;
- ввод нанокompозита Amortect Proof в топливо, наработка на фиксированном режиме  $n_{\text{кул.в.}} = 700$  об/мин 5 моточасов;
- снятие итоговой внешней скоростной характеристики ТНВД на чистом топливе после обработки системы нанокompозитом.

Результаты испытаний сведены в **табл. 9**

В таблице приведены объемы топлива, прокаченных каждой секцией топливного насоса за 1000 циклов, рассчитано среднее по всем секциям ТНВД значение прокаченного объема топлива и приведена оценка степени неравномерности цикловой подачи между секциями  $\Delta$ , рассчитанное относительно среднего значения (отношение максимальной разницы цикловых подач между секциями к среднему значению).

Частота вращения кул. вала	Объем цикловой подачи за 1000 циклов, см <sup>3</sup> , до обработки					$\Delta$ , %	Объем цикловой подачи за 1000 циклов, см <sup>3</sup> , по окончании испытаний					$\Delta$ , %
	Секция ТНВД №1	Секция ТНВД №2	Секция ТНВД №3	Секция ТНВД №4	Среднее		Секция ТНВД №1	Секция ТНВД №2	Секция ТНВД №3	Секция ТНВД №4	Среднее	
1100	12,7	12,8	12,5	12,4	12,60	2,3	12,7	12,8	12,6	12,6	12,70	1,6
900	14,2	14,2	14,0	13,7	14,03	3,5	14,3	14,2	14,1	13,9	14,13	2,8
700	14,0	14,0	13,8	13,6	13,85	2,9	14,1	14,2	14,0	13,9	14,05	2,2
500	11,0	11,1	10,8	10,7	10,90	3,7	11,0	11,0	10,9	10,8	10,93	1,8
<b>Итог:</b>					<b>12,80</b>	<b>3,1</b>					<b>12,95</b>	<b>2,1</b>

**Табл. 9** Результаты испытаний топливной системы двигателя на топливном стенде до и после обработки системы нанокompозитом Amortect Proof



Анализ результатов испытаний базовых образцов топлив показывает, что изменение объемной цикловой подачи после цикла испытаний несколько больше, чем в начальном замере (на **1,0...1,5%**). При этом, что очень важно, после обработки ТНВД нанокompозитом Amortect Proof, существенно снижается межсекционная неравномерность подачи по отдельным секциям. Это говорит о факторе частичного восстановления рабочих поверхностей изношенных плунжерных пар ТНВД и уменьшения протечек топлива в них. Очевидно, степень эффективности обработки ТНВД нанокompозитом будет зависеть от исходного состояния и степени износа плунжерных пар, поэтому данные, полученные в ходе данного фрагмента испытаний, могут быть рассмотрены как ориентировочные и сопоставительные.

## **7. Выводы по результатам испытаний**

### **7.1 Выводы по результатам испытаний нанокompозита Amortect Proof при обработке смазочной системы автомобильного дизельного двигателя**

На основании полного анализа всех результатов моторно-стендовых испытаний автомобильного дизельного двигателя семейства КАМАЗ, обработанного нанокompозитом Amortect PROOF, можно сделать следующие выводы:

1. Испытаниями установлено положительное влияние обработки масляной системы двигателя нанокompозитом Amortect PROOF на основные технико-экономические и экологические показатели дизеля. По итогу двадцатичасового цикла испытаний было получено снижение удельного расхода топлива в среднем за цикл испытаний на **6...7%**, уменьшение дымности отработавших газов в среднем за цикл испытаний на **21%** (в зависимости от режима работы двигателя – до **27%**), содержания оксидов углерода СО в среднем за цикл испытаний на **8%**, остаточных углеводородов – на **18%**.

2. 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 в среднем на 17%, о чем свидетельствует существенное уменьшение расхода топлива на скоростной характеристике холостого хода. 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 дымности и 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.***

## **7.2 Выводы по результатам испытаний нанокompозита Amortect Proof при обработке топливной системы автомобильного дизельного двигателя.**

Вся совокупность данных, полученных в ходе испытаний нанокompозита Amortect PROOF в качестве присадки к дизельному топливу, позволяет сделать следующие выводы:

- Обработка топливной системы дизельного двигателя нанокompозитом Amortect PROOF привела к определенному улучшению качества ее работы, выразившемуся в снижении протечек через плунжерные пары ТНВД, что проявилось определенным увеличением цикловых подач на режимах внешней скоростной характеристике и снижением степени неравномерности подачи топлива между секциями топливного насоса. Для двигателя это выражается в определенном увеличении мощности на режимах внешней скоростной характеристики, а также снижением вибраций и повышением равномерности работы цилиндров на режимах частичных характеристик;
- При проведении безмоторных испытаний на стенде Motorpal по результату испытаний среднее увеличение цикловой подачи составило **1,0...1,5%**, при этом средняя неравномерность подач по секциям насоса снизилась с **3,1% до 2,1%**. Очевидно, что этот эффект зависит от степени изношенности элементов топливной аппаратуры. В случае обработки сильно изношенного ТНВД эффект применения нанокompозита Amortect PROOF может быть существенно больше.

По итогам моторно-стендовых испытаний наблюдается видимый положительный эффект ввода нанокompозита в дизельное топливо, выражающийся в некотором снижении расхода топлива, дымности и токсичности отработавших газов.

*Каких-либо отрицательных последствий для двигателя от применения нанокompозита Amortect PROOF в качестве присадки к дизельному топливу за цикл испытаний отмечено не было.*