

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Институт энергетики / Высшая школа энергетического машиностроения

Индекс УДК 621.43
№ государственной
регистрации _____
Инвентарный № _____



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научно-организационной
деятельности

_____/Клочков Ю.С./

2022 г.

О Т Ч Е Т
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА «ТериумПро №1» НА МОТОРНЫЕ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕНЗИНОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО
ДВИГАТЕЛЯ НА БАЗЕ МОТОРНЫХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ
(заключительный)

Шифр темы / № работы 143248208

/ Директор Института энергетики

Петреня Ю.К.

Директор ВШЭМ

Алешина А.С.

Руководитель темы, к.т.н., доц.

Шабанов А.Ю.

Санкт-Петербург 2022

Список исполнителей:

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

Зайцев А.Б., к.т.н., доцент

Содержание работы

	Стр.	
1. Цель проведения работы	7	
2. Объект исследования	7	
3. Описание испытательного стенда и измерительной аппаратуры	7	
4. Программа испытаний	11	
5. Результаты испытаний препарата «ТериумПро№1»	12	
6. Выводы по результатам обработки двигателя препаратом «ТериумПро№1»	21	

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- n – частота вращения коленчатого вала двигателя;
- M_e – эффективный крутящий момент;
- N_e – эффективная мощность;
- G_T – часовой расход топлива;
- g_e – удельный расход топлива;
- η_e – эффективный к.п.д.;
- α – коэффициент избытка воздуха;
- $T_{ог}$ – температура отработавших газов двигателя;
- CO – содержание окиси углерода в отработавших газах двигателя;
- NO_x – содержание окиси азота в отработавших газах двигателя;
- CH – содержание остаточных углеводородов в отработавших газах двигателя.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВМТ – верхняя мертвая точка;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

КПД – коэффициент полезного действия;

КС – камера сгорания;

НМТ – нижняя мертвая точка;

ЦПГ – цилиндропоршневая группа

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ Р 53639-2009. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Приемка. Методы испытаний.

ГОСТ Р 41.83-2004 (Правила ЕЭК ООН № 83). Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в отношении выбросов вредных веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей.

[ГОСТ Р 51249-99](#) Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения.

[ГОСТ Р 52517-2005 \(ИСО 3046-1:2002\)](#) МОД, Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 1. Стандартные исходные условия, объявление мощности, расхода топлива и смазочного масла. Методы испытаний.

[ГОСТ Р ИСО 8178-7-99](#) Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Часть 7. Определение семейства двигателей.

[ГОСТ Р ИСО 8178-8-99](#) Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Часть 8. Определение группы двигателей.

ГОСТ 17.2.2.03-87. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний.

1. Цель проведения работы

Целью проведения настоящей работы является экспериментальное исследование влияние присадки к смазочному маслу «Териум Про №1» на основные показатели работы бензинового инжекторного двигателя – эффективную мощность, расход топлива и показатели токсичности отработавших газов, после полной обкатки ДВС в течении 60 часов.

В процессе работы использовались оборудование и расчетно-экспериментальные методики исследования рабочих процессов в ДВС, разработанные на кафедре «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

2. Объект исследований

В качестве объекта исследований был выбран быстроходный форсированный инжекторный автомобильный двигатель ВАЗ-2112 (4Ч 7.6/7.1) производства Волжского автозавода.

Данный двигатель предназначен для установки на переднеприводные автомобили малого класса и является одним из наиболее распространенных в России.

3. Описание испытательного стенда и измерительной аппаратуры

Моторные испытания двигателя ВАЗ-2112 проводились на испытательном стенде Испытательной лаборатории ДВС кафедры ИСУиТС ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого».



Рис.1. Стенд с двигателем ВАЗ-21126



Рис.2. Пульт управления стендом

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.

Стенд для испытания двигателя был оборудован электротормозной установкой производства МЭЗ ВСЕТИН.

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

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 _x	ОПТОГАЗ 500-1, №19-4-04	0...5000 ppm	1035 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	Электрический тормоз	MS-Vsetin	0-500,0	±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
Средства измерения вспомогательных величин				
Температуры:				
Хладагента, град.С	Терморезистор	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

Дополнительный контроль параметров осуществлялся с помощью штатной системы диагностики и управления двигателем с выводом информации на компьютер, а так же мотортестером USB

«Autoscope IV» скрипт Pх , вакуумметра и компрессометра для замеров герметичности цилиндропоршневой группы.

При испытаниях использовалось синтетическое смазочное масло SAE 5W-40 API SN/CF.

4. Программа испытаний

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

Подготовительные работы:

- Полная приработка двигателя на фиксированном режиме работы в течении 60 часов, при которой достигается полная степень приработки сопряжений, следовательно оптимизируется площадь фактического пятна контакта поверхностей пар трения (увеличивается) , а удельное давление и интенсивность износа (уменьшается), вследствие этого все параметры двигателя выходят на номинальные значения;

- Искусственное закоксовывание поршневых колец поршней двух цилиндров для имитации процесса залегания колец, оцениваемое по показателям остаточного вакуума;

- Начальную диагностику двигателя, установленного на стенд, замер параметров герметичности цилиндро-поршневой группы;

- Кратковременную обкатку двигателя на фиксированном режиме работы;

- Снятие базовых характеристик двигателя при работе на штатном масле. Производится снятие двух нагрузочных характеристик двигателя при $n=2000, 3000$ об/мин с замером основных показателей работы двигателя;

- Обработка двигателя присадкой по технологии фирмы-производителя. Обработка двигателя препаратом «Териум Про №1» производилась представителем Заказчика.

- Нарботка заданного времени на стенде на фиксированных режимах работы, предписанных методикой ускоренных трибологических испытаний;
- Периодический замер контрольных параметров, свидетельствующих о динамике работы препарата;
- По окончании цикла испытаний производится снятие нагрузочных характеристик двигателя при $n = 2000, 3000$ об/мин с замером основных показателей работы двигателя;
- Замеры показателей вакуумметра, P_x и компрессии, газоплотности цилиндра-поршневой группы;
- Обработка результатов испытаний.

Оценка эффективности препаратов производится по следующим параметрам:

- изменению величины и степени равномерности компрессии и вакуума по цилиндрам;
- величине максимальной мощности и максимального крутящего момента в абсолютной величине и в процентном выражении;
- величинам удельного расхода топлива в абсолютном и процентном выражении в приведенных атмосферных условиях;
- изменению токсичности отработавших газов по компонентам CO, NO и CH до и после обработки двигателя;
- по изменению величины эффективного и механического к.п.д. двигателя до и после обработки.

5. Результаты испытаний препарата «Териум Про №1»

Испытания проводились в строгом соответствии с программой, приведенной выше. При проведении испытаний присутствовали представители Заказчика:

Кузьмин П.В. директор ООО «РСТПРОМ»

Беляев И.А. технический директор ООО «РСТПРОМ»

В процессе испытаний использовалось смазочное масло Shell Helix NH8 5W-40 и бензин марки А-95 «Лукойл». Бензин для

проведения всех испытаний закупался одновременно, в начале испытаний.

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

Здесь и далее в таблицах использованы следующие обозначения:

n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

M_e – эффективный крутящий момент;

N_e – эффективная мощность;

G_t – часовой расход топлива;

g_e – удельный расход топлива;

η_e – эффективный к.п.д.;

η_m – механический к.п.д.;

P_m – давление масла в системе смазывания двигателя;

T_m – температура масла в поддоне двигателя;

CO – содержание окиси углерода в отработавших газах двигателя;

NO – содержание окиси азота в отработавших газах двигателя;

CH – содержание остаточных углеводородов в отработавших газах двигателя

Результаты обработки показателей двигателя, замеренных на момент окончания базового цикла испытаний до обработки составом «Териум Про №1», и по окончании испытаний сведены в табл. 1, 2.

Нагрузочные характеристики, $n=2000$ об/мин

**Моторное масло Shell Helix NH8 5W-40 на разных стадиях
обработки трибосоставом ТериумПро №1**

База

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	Pe	Пм	CO, %	СН, ppm	NO, ppm	Рм, бар	Тм, град.С
1	20,49	4,29	2,54	0,592	0,138	0,518	1,245	124	1874	2,5	82
2	40,97	8,58	3,51	0,409	0,200	0,687	1,301	128	2425	2,4	85
3	62,48	13,09	4,33	0,331	0,247	0,775	1,326	130	2465	2,3	87
4	81,95	17,16	5,45	0,318	0,258	0,822	1,410	125	2536	2,2	89
5	113,8	23,82	8,50	0,357	0,229	0,870	5,224	168	925	2,0	91
Среднее			4,866	0,404	0,214	0,734	2,101	135	2045	2,28	87

После первой обработки

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	Pe	Пм	CO, %	СН, ppm	NO, ppm	Рм, бар	Тм, град.С
1	20,49	4,29	2,46	0,574	0,143	0,540	1,126	120	1925	2,6	81
2	41,49	8,69	3,37	0,388	0,211	0,708	1,187	131	2425	2,6	83
3	61,97	12,98	4,15	0,320	0,256	0,787	1,205	124	2531	2,5	84
4	81,95	17,16	5,18	0,302	0,271	0,832	1,298	118	2574	2,3	87
5	116,8	24,46	8,46	0,346	0,237	0,879	5,015	160	974	2,2	89
Среднее			4,724	0,386	0,224	0,749	1,966	130	2086	2,44	85

После второй обработки

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	Pe	Пм	CO, %	СН, ppm	NO, ppm	Рм, бар	Тм, град.С
1	20,49	4,29	2,39	0,558	0,147	0,548	1,111	108	1947	2,6	80
2	41,49	8,69	3,29	0,379	0,216	0,712	1,025	114	2504	2,6	82
3	61,97	12,98	4,08	0,314	0,260	0,792	1,145	118	2548	2,6	83
4	81,95	17,16	5,10	0,297	0,276	0,845	1,197	110	2688	2,5	84
5	118,8	24,89	8,37	0,337	0,243	0,885	4,884	146	995	2,4	87
Среднее			4,646	0,377	0,228	0,756	1,872	119	2136	2,54	83

Табл. 1. Нагрузочные характеристики двигателя, n=2000 об/мин.

Моторное масло Shell Helix NH8 5W-40 на разных стадиях
обработки трибосоставом Териум Про №1

Нагрузочные характеристики, n=3000 об/мин

**Моторное масло Shell Helix NH8 5W-40 на разных стадиях
обработки трибосоставом ТериумПро №1**

База

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	Pe	Пм	CO, %	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град.С
1	21,81	6,85	3,53	0,514	0,159	0,453	0,998	115	2605	2,8	92
2	41,55	13,05	4,80	0,368	0,222	0,616	1,015	125	3054	2,8	95
3	62,32	19,58	5,90	0,302	0,271	0,710	1,077	130	3160	2,7	97
4	84,14	26,43	7,52	0,284	0,288	0,771	1,174	116	3026	2,6	99
5	126,7	39,81	13,64	0,343	0,239	0,841	6,125	165	558	2,5	102
Среднее			7.078	0,362	0,236	0,678	2,078	130	2481	2,68	97

После первой обработки

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	Pe	Пм	CO, %	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град.С
1	21,29	6,69	3,38	0,506	0,162	0,460	0,924	107	2625	2,9	90
2	41,55	13,05	4,69	0,360	0,227	0,619	0,987	117	3102	2,9	94
3	62,32	19,58	5,72	0,292	0,280	0,718	1,021	121	3201	2,8	95
4	83,62	26,27	7,29	0,278	0,295	0,775	1,110	111	3074	2,7	97
5	129,1	40,55	13,62	0,336	0,244	0,850	5,874	160	595	2,7	99
Среднее			6,940	0,354	0,241	0,684	1,982	123	2519	2,80	95

После второй обработки

№ режима	Me, Нм	Ne, кВт	Gt, кг/ч	ge, кг/кВтч	Pe	Пм	CO, %	CH, ppm	NO, ppm	Pm, бар	Tm, град.С
1	21,29	6,69	3,30	0,493	0,166	0,466	0,887	100	2646	3,0	87
2	41,55	13,05	4,52	0,347	0,236	0,626	0,914	110	3138	2,9	92
3	62,84	19,74	5,53	0,280	0,292	0,724	0,925	114	3250	2,9	94
4	84,14	26,43	7,20	0,272	0,300	0,781	1,004	102	3126	2,8	95
5	131,8	41,32	13,75	0,337	0,243	0,856	5,662	148	628	2,8	96
Среднее			6,860	0,346	0,247	0,691	1,878	115	2558	2,88	92

Табл.2. Нагрузочные характеристики двигателя, n=3000 об/мин.
Моторное масло Shell Helix NH8 5W-40 на разных стадиях
обработки трибосоставом Териум Про №1

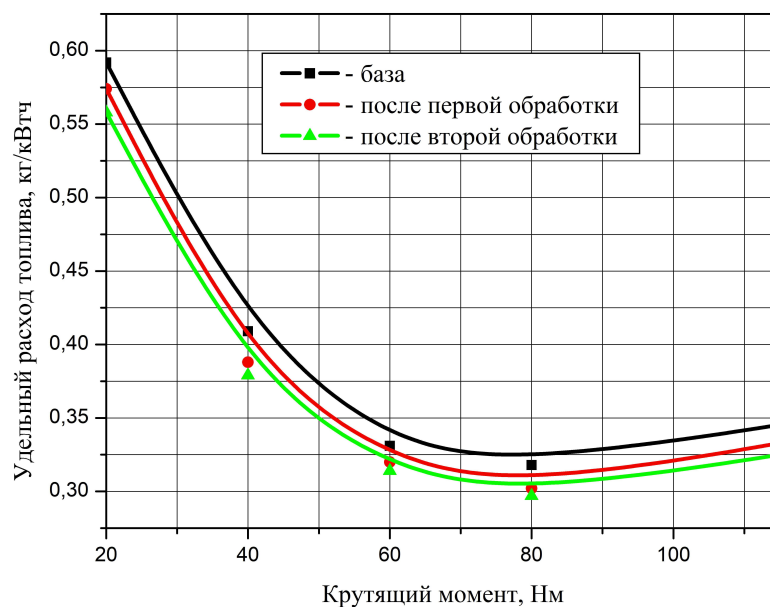


Рис.3. Изменение удельного расхода топлива двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=2000$ об/мин

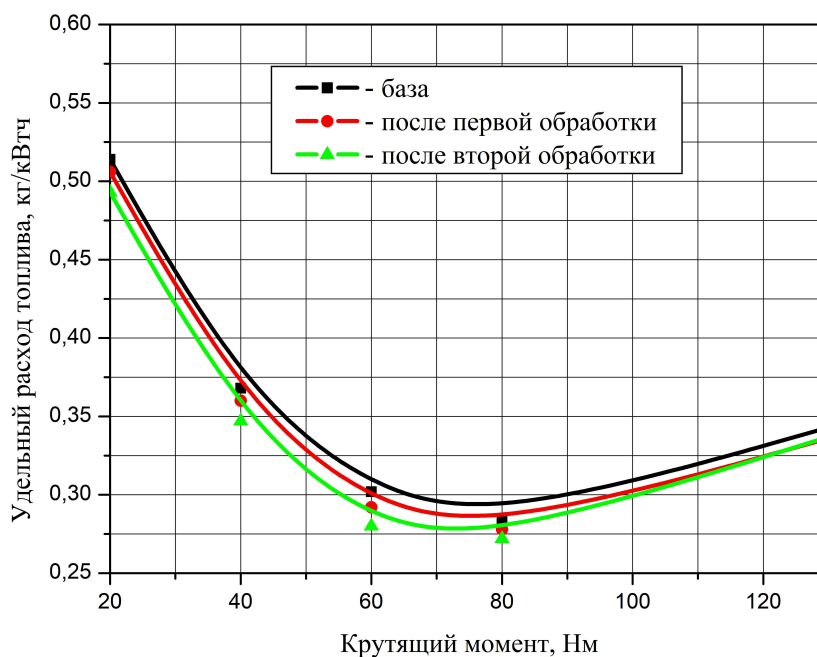


Рис.4. Изменение удельного расхода топлива двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=3000$ об/мин

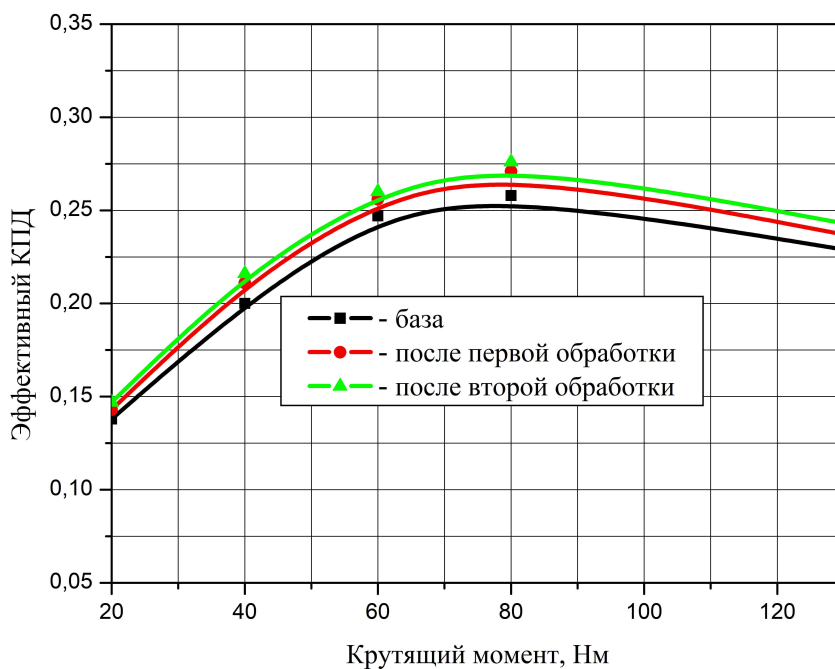


Рис.5. Изменение эффективного КПД двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=2000$ об/мин

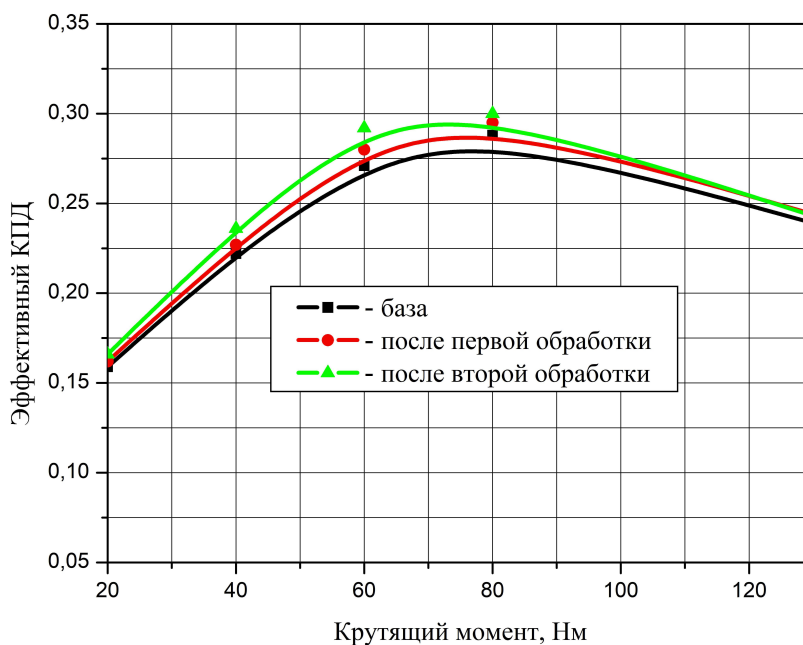


Рис.6. Изменение эффективного КПД двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=3000$ об/мин

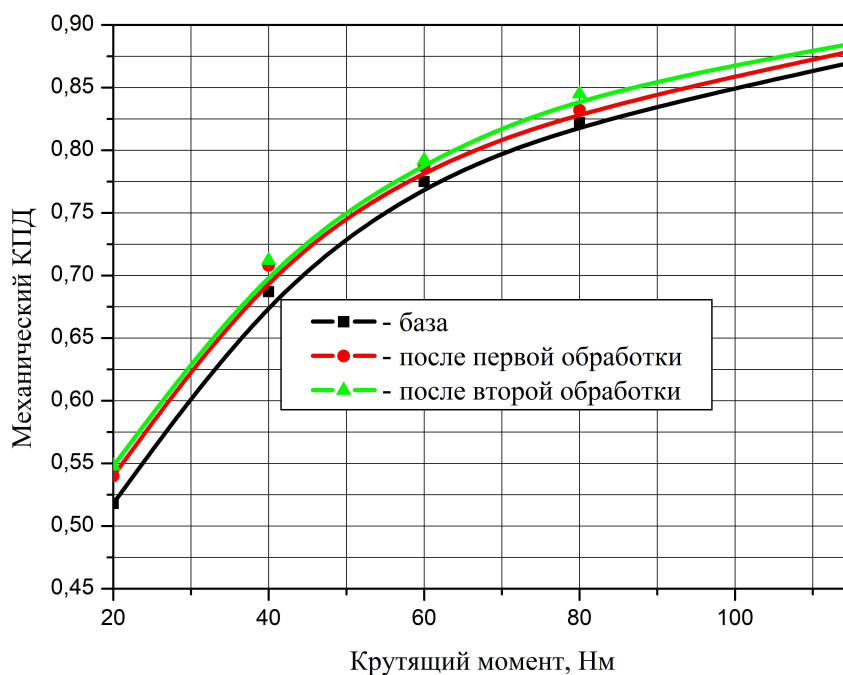


Рис.7. Изменение механического КПД двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=2000$ об/мин

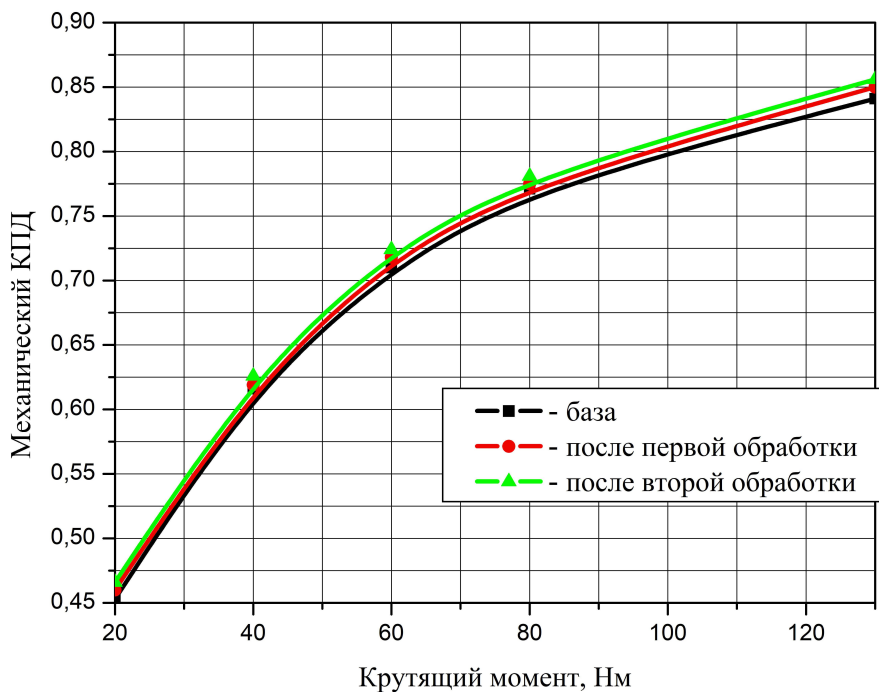


Рис.8. Изменение механического КПД двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=3000$ об/мин

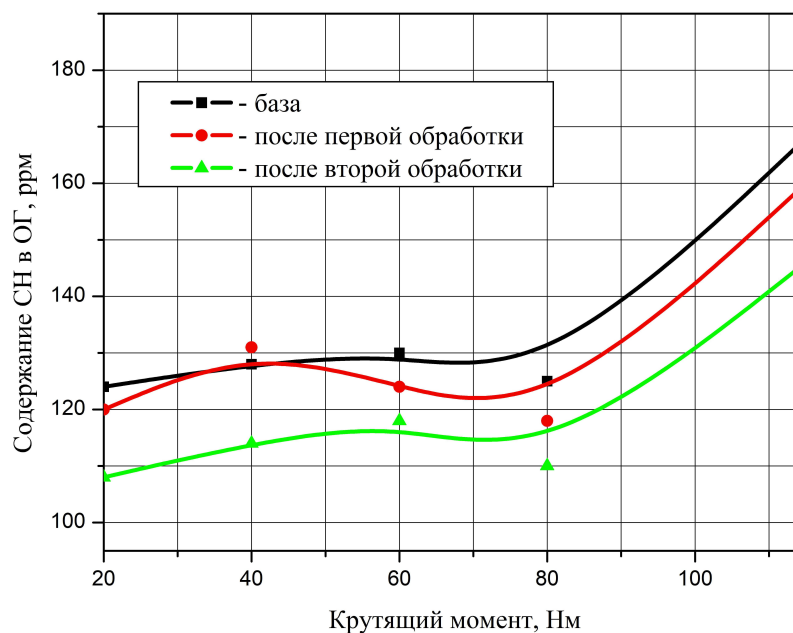


Рис.9. Изменение содержания остаточных углеводородов СН в отработавших газах двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=2000$ об/мин

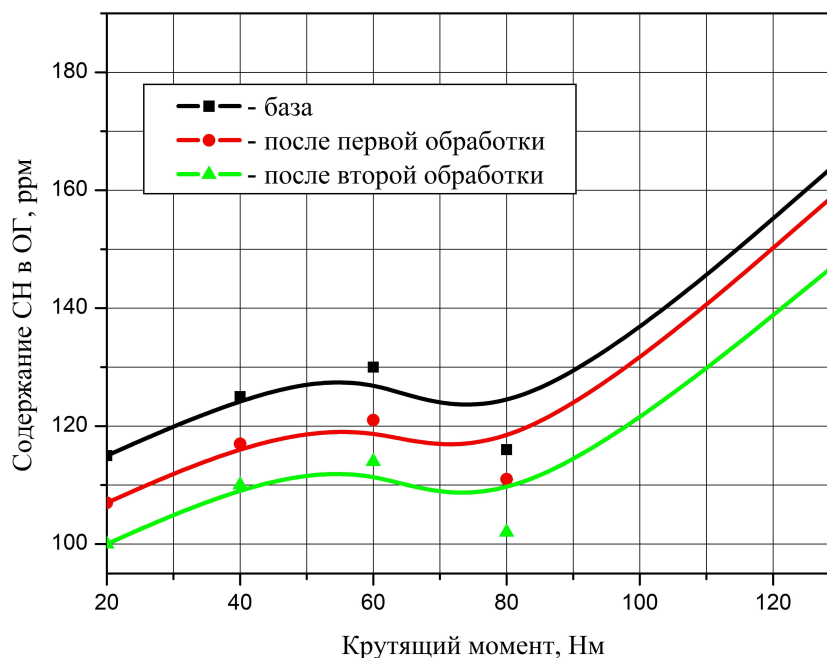


Рис.10.Изменение содержания остаточных углеводородов СН в отработавших газах двигателя ВАЗ-2112 до и после обработки препаратом «Териум Про №1», $n=3000$ об/мин

Замеры компрессии в цилиндрах двигателя проводились на двух этапах испытаний:

- после цикла снятия базовых характеристик;
- по окончании испытаний.

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

Данные замеров сведены в табл. 3.

	Полный вакуум, бар				Остаточный вакуум, бар			
	Номер цилиндра				Номер цилиндра			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Начало испытаний	0,81	0,79	0,87	0,87	0,40	0,39	0,34	0,35
После первой обработки	0,85	0,86	0,88	0,88	0,24	0,23	0,21	0,20
После второй обработки	0,89	0,89	0,89	0,89	0,18	0,18	0,18	0,18
	Компрессия, бар				Скрип P _x по 1цилиндру			
	Номер цилиндра				Комплексные потери газа		Оценочная геометрическая степень сжатия	
	1	2	3	4				
Начало испытаний	7,9	8,3	9,8	9,2	25		9,8	
После первой обработки	11,7	11,1	11,7	11,5				
После второй обработки	12,2	12,1	12,3	12,3	14		11,5	

Табл.3. Результаты замеров параметров герметичности цилиндро-поршневой группы двигателя до и после обработки препаратом «Териум Про №1»

6. Выводы по результатам обработки двигателя препаратом «Териум Про №1»

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- После полной обкатки в течении 60 часов с последующей работой ДВС на некачественном топливе приведшем к залеганию колец, обработка двигателя ВАЗ-2112 препаратом «Териум Про №1» привела к определенному снижению уровня механических потерь, особенно заметному в зоне низких и средних частот вращения коленчатого вала (до 2000 об/мин). Это повлекло общее снижение удельного расхода топлива, также в большей степени выраженное в зоне малых оборотов, а также увеличение мощности двигателя во всем диапазоне эксплуатационных характеристик.

- Усредненные эффекты обработки двигателя препаратом «Териум Про №1», полученные по окончании испытаний, сведены в табл. 4. В данной таблице приведены проценты улучшения/ухудшения показателей, усредненные по 20 точкам замера, интерполированным по экспериментальным данным.

№	Стадия испытаний	Мощность, кВт при n=3000 об/мин	Расход топлива, кг/кВтч	Эффект. КПД	Механ. КПД	CO, %	СН, ppm	NOx, ppm
1	Начало испытаний	39,8	0,382	0,225	0,706	2,09	133	2263
2	После первой обработки / изменение по отношению к началу испытаний)	40,6	0,370	0,233	0,717	1,97	127	2303
		+2,0	-3,1	+3,6	+1,6	-5,7	-4,5	+1,7
3	После второй обработки / изменение по отношению к началу испытаний)	41,3	0,361	0,238	0,723	1,88	117	2347
		+3,8	-5,5	+5,8	+2,4	-10,0	-12,0	+2,4

Табл.4. Усредненные за цикл испытаний результаты по изменению параметров работы двигателя ВАЗ-2112 после обработки присадкой «Териум Про №1»

- Обработка двигателя присадкой «Териум Про №1» привела к определенному росту давления масла в системе смазывания и снижению токсичности отработавших газов по компонентам СО и СН;

- Обработка двигателя присадкой «Териум Про №1» привела к существенному повышению качества уплотнения цилиндро-поршневой группы двигателя и выравниванию компрессии по цилиндрам.