

УДК 665.765

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ С УВЕЛИЧЕННЫМИ ИНТЕРВАЛАМИ ЗАМЕНЫ

Н.Ю. Мачехин<sup>1</sup>, И.И. Ширлин<sup>2</sup>, \*С.В. Пашукевич<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Омский автобронетанковый инженерный институт,  
г. Омск, Россия;

<sup>2</sup>ООО «Газпромнефть – смазочные материалы»,  
г. Москва, Россия;

<sup>3</sup>Омский государственный технический университет,  
г. Омск, Россия;

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
г. Омск, Россия.

\*sofia96@bk.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Эффективная работа автомобилей во многом зависит от состояния двигателей, простоев их в техническом обслуживании и ремонте. Так как техническое обслуживание современных двигателей часто сводится к замене моторного масла, то увеличение продолжительности его работы значительно сокращает эксплуатационные затраты и простои в техническом обслуживании. Длительная безремонтная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания автомобильной техники непосредственно связана с состоянием моторного масла, применяемого в данном силовом агрегате. Основной причиной написания работы явилась необходимость показать особенности эксплуатации техники при значительных интервалах замены моторных масел с целью повышения эффективности её использования. В работе приведены данные об особенностях эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены.

**Материалы и методы.** Эксплуатационные испытания проводились на базе автомобилей Mercedes-Benz Аxог, Mercedes-Benz Actros. Завод-изготовитель предоставил оценочные показатели работоспособности моторных масел для двигателей. Основные характеристики работоспособности моторных масел оценивались стандартными методами: кинематическая вязкость измерялась при помощи вискозиметра Штабенера, щелочное число определялось автоматическим титратором AT-500, содержание продуктов износа было получено эмиссионным спектрофотометром со связанной плазмой ASP.

**Результаты.** Представлены данные о зависимости изменения основных показателей работоспособности моторных масел от наработки, а также обоснованы требования к объёмам доливаемых свежих моторных масел для восполнения потерь.

**Обсуждение и заключение.** Промежуточный контроль, описываемый в статье, позволяет выявить неисправности двигателей внутреннего сгорания автомобиля, а также дать наиболее точный прогноз о ресурсе рассматриваемого смазочного материала. Увеличение интервалов замены моторного масла позволяет получить значительный экономический эффект.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** моторные масла, смазочные материалы, кинематическая вязкость, кислотное число, щелочное число, двигатель внутреннего сгорания.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Выражаем искреннюю благодарность Сергею Васильевичу Корнееву, профессору, доктору технических наук, за помощь в написании статьи.

© Н.Ю. Мачехин, И.И. Ширлин, С.В. Пашукевич



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# USAGE OF HIGH-QUALITY ENGINE OILS WITH EXTENDED REPLACEMENT INTERVALS: FEATURES OF THE EQUIPMENT OPERATION

N.Y. Machekhin<sup>1</sup>, I.I. Shirlin<sup>2</sup>, \*S.V. Pashukevich<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Omsk Automobile and Armored Engineering Institute,  
Omsk, Russia

<sup>2</sup>Gazpromneft,  
Moscow, Russia

<sup>3</sup>Omsk State Technical University,  
Omsk, Russia,

<sup>4</sup>Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia.

\* sofia96@bk.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The effective operation of cars largely depends on the state of the engines, their downtime in maintenance and repair. Since the maintenance of modern engines is often reduced to the replacement of engine oil, the increase in the duration of its work significantly reduces maintenance costs and downtime in maintenance. Long maintenance-free operation of the internal combustion engines of automotive vehicles is directly related to the state of the engine oil used in this power unit. The aim of the paper is to show the features of the equipment operation with significant intervals of the engine oils' replacement in order to increase the efficiency of its usage. The paper presents data on the features of the equipment operation when using high-quality motor oils with extended replacement intervals.

**Materials and methods.** The authors conducted performance tests on the basis of MercedesBenzAxor, MercedesBenzActros cars. The manufacturer provided an estimate of the performance of engine oils. The main performance characteristics of motor oils were assessed using standard methods: kinematic viscosity was measured using a Stabinger viscosimeter, the base number was determined by an automatic AT-500 titrator, the content of wear products was obtained using an ASP-coupled emission spectrophotometer.

**Results.** As a result, the authors presented data on the dependence of the changes in the main indicators of engine oil performance while the operating time and also substantiated the requirements for the volumes of fresh engine oil to compensate losses.

**Discussion and conclusions.** The intermediate control allows detecting faults in the internal car engines, as well as providing the most accurate prediction of the resource of the lubricant under consideration. Therefore, the increasing of the engine oil change interval allows getting a significant economic effect.

**KEYWORDS:** motor oils, lubricants, kinematic viscosity, acid number, base number, internal combustion engine.

**ACKNOWLEDGMENTS.** The authors express their sincere gratitude to Sergey V. Korneev, Professor, Doctor of Technical Sciences, for his help in writing this manuscript.

© N.Y. Machekhin, I.I. Shirlin, S.V. Pashukevich



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**ВВЕДЕНИЕ**

Значительное количество техники и оборудования, используемого при добыче и переработке нефти и газа, требует для базового использования автомобильную технику, оснащённую двигателями внутреннего сгорания. Надёжность и долговечность двигателей внутреннего сгорания напрямую зависит от состояния моторных масел. Изменение свойств моторных масел в процессе использования определяет периодичность их замены. В настоящее время организации, эксплуатирующие технику, стремятся сокращать расходы за счет увеличения сроков замены моторных масел. Данная тенденция диктуется производителями техники и смазочных материалов, которые регулярно пополняют ассортимент новыми высококачественными продуктами уровня свойств Super High Performance Diesel (SHPD) и Ultra High Performance Diesel (UHPD) [1, 2, 3].

Такой подход при одобрении производителя техники позволяет снизить эксплуатационные расходы за счет снижения объемов потребления смазочных материалов, снижения трудозатрат на замену смазочных материалов и фильтров, увеличивает коэффициент использования парка за счет сокращения времени простоя техники при техническом обслуживании [4, 5, 6].

Однако увеличение интервалов замены без контроля технического состояния техники

и эксплуатационных свойств смазочного материала имеет определенные риски снижения надежности техники, связанные со скрытыми неисправностями узлов и агрегатов. Применительно к моторным маслам существует ряд неисправностей, которые приводят к резкому снижению эксплуатационных свойств смазочного материала и, как следствие, к повышенному износу деталей двигателя [7].

Кроме того, при эксплуатации техники на увеличенных интервалах замены неизбежно возникает необходимость компенсации расхода масла «на угар» и (или) в результате несвоевременно обнаруженных утечек при нарушении герметичности системы смазки. Доливки свежего масла сами по себе улучшают эксплуатационные свойства работающего смазочного материала, но при этом увеличивается риск смешения смазочных материалов разного качества и попадания внешних загрязнений при некачественном обслуживании техники в рейсах, а это уже негативно сказывается на эксплуатационных свойствах моторного масла и надежности двигателя [8, 9].

Таким образом, для уменьшения рисков снижения надежности двигателей автомобилей, которые эксплуатируются с увеличенными интервалами замены моторного масла, необходимо введение дополнительного промежуточного контроля (диагностики) состояния моторного масла и двигателя [10, 11, 12].

В подтверждение вышесказанного представлены полученные результаты эксплуата-

Таблица 1  
Физико-химические характеристики масла g- profi gts 5w 30

Table 1  
Physical and chemical characteristics of the oil g-Profi GTS 5W 30

Показатели	Значение	Метод
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при 40 °С		
	72,0	ASTM D 445
при 100 °С	12,1	ASTM D 445
Индекс вязкости	166	ASTM D 2270
Вязкость динамическая (CCS) при минус 30°С, мПа*с	6500	ASTM D 5293
Температура вспышки в открытом тигле, °С	231	ASTM D 92
Температура застывания, °С	-42	ASTM D 97
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	859	ASTM D 1298
Щелочное число, мг КОН/г	15,0	ASTM D 2896

Таблица 2  
**Физико-химические характеристики масла g-profi gts 10w 40**

Table 2  
**Physical and chemical characteristics of the oil g-profi gts 10w 40**

Показатели	Значение	Метод
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при 40 °С	91,4	ASTM D 445
	при 100 °С	13,7
Индекс вязкости	152	ASTM D 2270
Вязкость динамическая (CCS) при минус 30°С, мПа*с	6650	ASTM D 5293
Температура вспышки в открытом тигле, °С	233	ASTM D 92
Температура застывания, °С	-37	ASTM D 97
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	866	ASTM D 1298
Щелочное число, мг КОН/г	16,0	ASTM D 2896

Таблица 3  
**Предельные значения показателей работающих масел**

Table 3  
**Limit values of operating oils**

№	Показатель	Нормативное значение
1	Изменение вязкости при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с (сСт)	9,3–12,5 (предел класса вязкости SAE 30) 12,5–16,3 (предел класса вязкости SAE 40)
2	Содержание топлива, %	не более 2,0
3	Общее щелочное число (TBN), не менее мгКОН/г	6,86 (5W-30) и 7,5 (10W-40) (50% от значения свежего масла)
4	Общее кислотное число TAN, мгКОН/г	не должно превысить значение TBN
Потенциальные загрязняющие вещества и металлы износа		
5	Кремний (Si), ppm	менее 40
6	Сажа, %	менее 3
7	Содержание воды, %	не более 0,2
8	Железо, ppm	не более 95
9	Алюминий, ppm	не более 16
10	Медь, ppm	не более 45
11	Свинец, ppm	не более 80

тационных испытаний парка техники с использованием моторного масла G-ProfiGTS, производства компании «Газпромнефть – смазочные материалы», соответствующего ACEA E4, E7, двух классов вязкости по SAE 5W-30 и SAE 10W-40 (характеристики данных масел представлены в таблицах 1 и 2).

### ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксплуатационные испытания проводились на базе автомобилей Mercedes-Benz Acor, Mercedes-Benz Actros, работающих по маршрутам междугородних перевозок в период с сентября 2017 по апрель 2018 года. Целью испытаний была оценка возможности

## РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

увеличения интервала замены моторного масла с 60 до 80 тыс. км в условиях эксплуатации техники. В ходе проведения эксплуатационных испытаний среднесуточная наработка автомобилей составила 319 – 420 км/сут, общая наработка автомобилей – от 46 до 79 тыс. км.

Оценка эксплуатационных свойств мотор-

ного масла производилась по динамике изменения показателей качества работающего моторного масла [13, 14, 15]. Критериями оценки основных эксплуатационных свойств были выбраны следующие показатели качества моторного масла: кинематическая вязкость при 100 °С, щелочное и кислотное числа, содержание

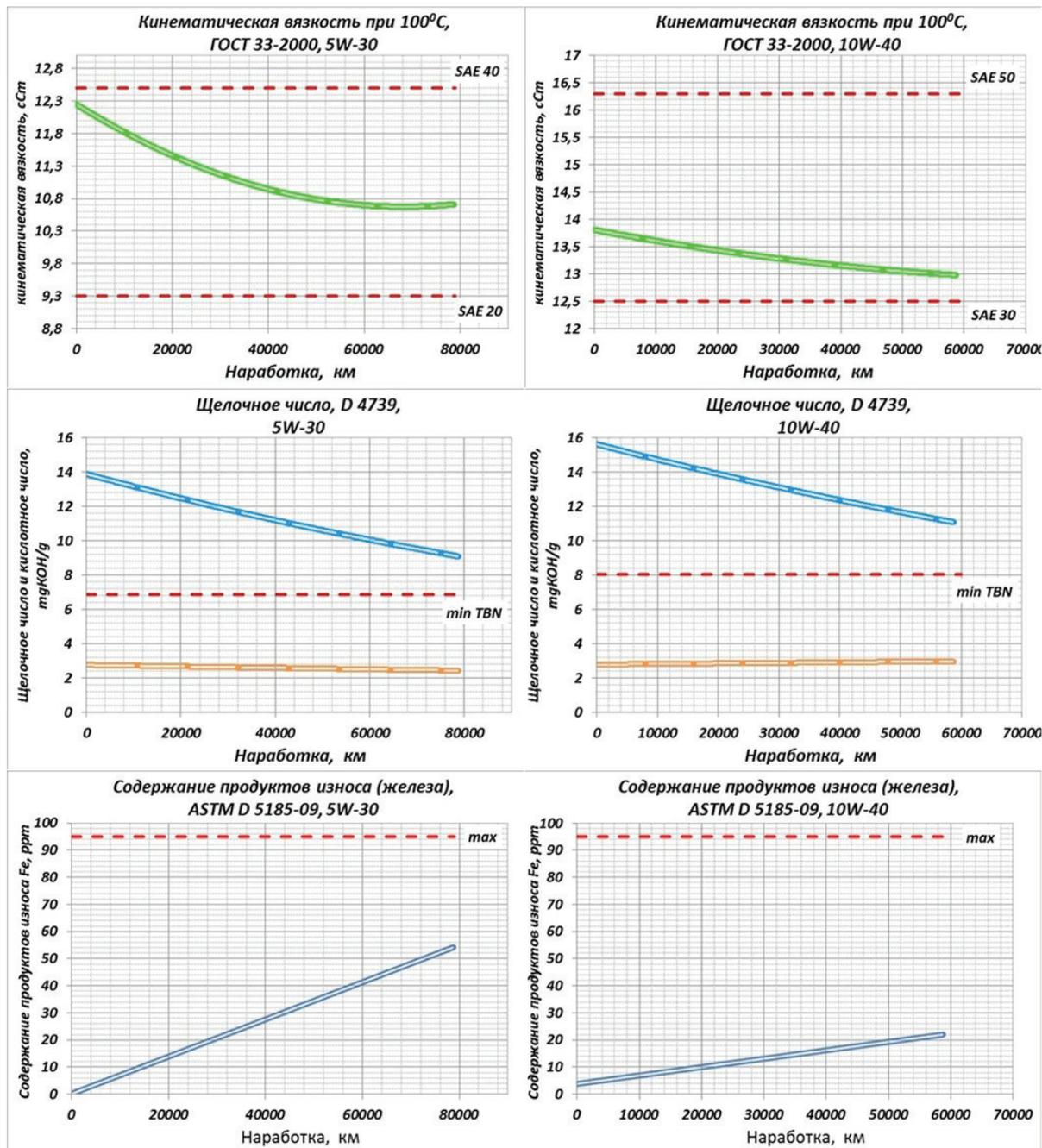


Рисунок 1 – Изменение основных показателей моторных масел в процессе эксплуатации

Figure 1 – Changes in the main indicators of engine oils during operation

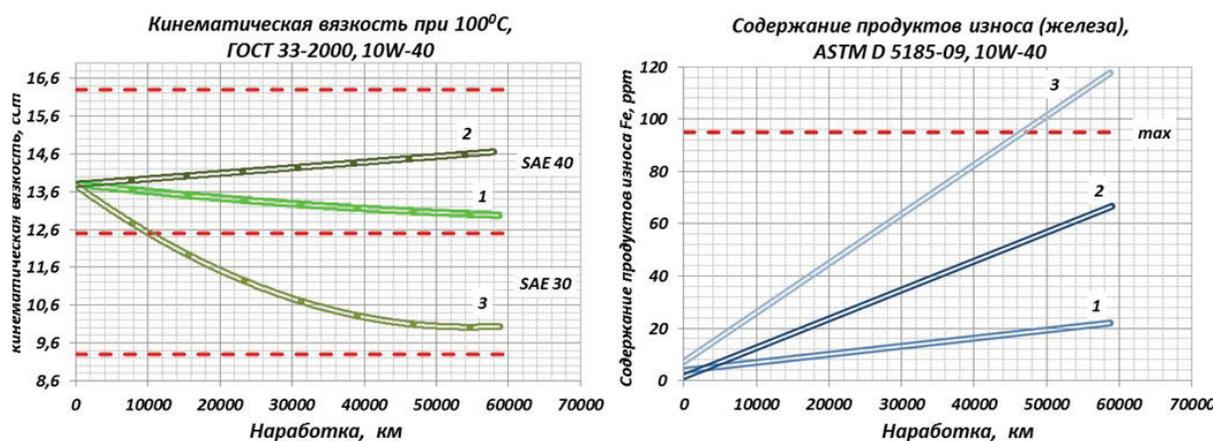


Рисунок 2 – Изменение показателей моторного масла при неисправностях системы питания двигателя:  
1 – исправный двигатель; 2 – нарушение процесса сгорания (накопление сажи до 4,2 %);  
3 – попадание топлива (попадание топлива до 3%)

Figure 2 – Change in engine oil performance while engine power system's faults:  
1 – serviceable engine; 2 – violation of the combustion process (soot accumulation up to 4.2%);  
3 – hit of fuel (hit of fuel to 3%)

элементов износа (железа) [16, 17]. Основные характеристики работоспособности моторных масел оценивались стандартными методами: кинематическая вязкость измерялась при помощи вискозиметра Штабенера, щелочное число было определено с помощью автоматического титратора AT-500, содержание продуктов износа в свою очередь было получено эмиссионным спектрофотометром со связанной плазмой ASP.

Техническое состояние подконтрольных автомобилей и смазочного материала диагностировалось по состоянию работающего моторного масла, отобранного из двигателей при пробеге 30, 40, 50, 60, 70 и 80 тыс. км с момента замены масла. Отобранные пробы исследовались в аккредитованной лаборатории.

Полученные результаты исследований сравнивались со значениями браковочных показателей (таблица 3) и оформлялись в виде зависимостей от наработки моторного масла (рисунок 1).

На основе анализа полученных данных (значения показателей качества работающих моторных масел находятся в пределах допустимых значений в течение рассматриваемых наработок) можно уверенно говорить о возможности подконтрольного увеличения периодичности замены моторного масла с 60 до 80 тыс. км.

Однако полученные зависимости справед-

ливы для автомобилей с исправными двигателями. В случае возникновения отклонений в работе отдельных систем происходит ухудшение эксплуатационных свойств моторных масел, что приводит к увеличению интенсивности износа деталей двигателей [18, 19, 20].

На рисунке 2 представлены сравнительные зависимости, полученные для проб масла с попаданием сажи и топлива.

Полученные данные подтверждают, что при повышении содержания сажи в моторном масле кинематическая вязкость при 100 °C начинает увеличиваться, а это приводит к снижению смазывающей способности, увеличению интенсивности износа деталей и, как следствие, содержание железа в масле к наработке 60 тыс. км становится в 3 раза больше по сравнению с исправным двигателем [21].

Однако большее влияние на изнашивание деталей двигателя оказывает попадание в моторное масло топлива [22]. При концентрации топлива в работающем моторном масле 10W-40 до 0,8% происходит снижение вязкости ниже границы класса SAE 40 уже при наработке около 10 тыс. км, что вследствие уменьшения масляного клина и смывания масляной пленки с гильз цилиндров приводит к интенсивному изнашиванию деталей двигателя. Концентрация железа в масле превысила аналогичный показатель для исправного двигателя при той же наработке в 4 раза. Нуж-

но отметить, что лёгкие топливные фракции углеводородов имеют высокую скорость окисления, образуя лаковые отложения, кокс, асфальтены и другие загрязняющие вещества.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Увеличение пробега между заменами моторного масла увеличивает количество доливок свежего продукта для компенсации возможного снижения уровня масла в двигателе.

Увеличение доливок оказывает неоднородное влияние на надёжность двигателя. С одной стороны, разбавление моторного масла свежим продуктом улучшает свойства работающего моторного масла, с другой – возрастает вероятность попадания внешних загрязнений и смешения моторных масел различных, «конфликтующих» составов, что может привести к резкому снижению эксплуатационных свойств работающего масла.

В условиях междугородних перевозок, когда автомобили долгое время находятся вдали от сертифицированных СТО с необходимыми смазочными материалами, водители вынуждены, полагаясь на свой опыт, использовать доступные смазочные материалы сторонних производителей, которые могут отличаться по составу от применяемого моторного масла.

Так, в ходе проведения эксплуатационных испытаний были выявлены доливки смазочных материалов стороннего производителя в двух из десяти подконтрольных автомобилей.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Увеличение интервалов замены моторного масла снижает затраты на эксплуатацию техники за счет сокращения количества проводимых технических обслуживаний за жизненный цикл автомобиля. Так, при переходе с межсервисного интервала 60 000 км на интервал 80 000 км количество технических обслуживаний при пробеге 1 000 000 км сокращается на 5 технических обслуживаний (с 17 до 12) на одну единицу техники. Если принять среднюю стоимость технического обслуживания для автомобилей Mercedes-Benz в 20–25 тыс. рублей, получим экономию 100–125 тыс. рублей / ед. техники.

2) При увеличении интервалов замены сокращается количество диагностических воздействий, что увеличивает риски скрытых неисправностей, которые могут привести к поломкам. Так, нарушения в работе системы питания двигателя резко снижают эксплуатационные свойства используемого моторного

масла и приводят к повышенному износу деталей двигателя.

3) Увеличение интервалов замены способствует росту количества доливок свежего моторного масла для компенсации естественного расхода масла на угар и в случае возникновения неисправностей компенсацию утечек, что дополнительно увеличивает риск снижения эксплуатационных свойств смеси моторных масел – применяемого и доливаемого.

4) Снижение рисков возможно за счет промежуточного контроля состояния моторного масла. Промежуточная оценка состояния моторного масла позволяет не только выявить скрытые неисправности двигателей автомобилей парка, но и прогнозировать ресурс моторного масла до замены и корректировать межсервисные интервалы с учетом фактического состояния смазочного материала.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. X. A. Zhang, Y. Zhao, K. Ma, Q. Wang. Friction behavior and wear protection ability of selected base lubricants // *Friction*. 2016. Vol. 4. no. 1, pp. 72–83.
2. M. Laad, V. Kumar S.Jatti. Titanium oxide nanoparticles as additives in engine oil // *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 2018. Vol. 30. no. 2, pp. 116–122.
3. B. Tormosa, R. Novella, J. Gomez-Soriano, A. García-Barberá, N. Tsuji, I. Uehara, M. Alonsoc. Study of the influence of emission control strategies on the soot content and fuel dilution in engine oil // *Tribology International*. 2019. Vol.136. pp. 285–298.
4. H. Raposo, J.TorresFarinha, I.Fonseca, D. Galarb. Predicting condition based on oil analysis – A case study // *Tribology International*. 2019. Vol.135. pp. 65–74.
5. E. Rostek, M. Babiak, E. Wróblewski. The Influence of Oil Pressure in the Engine Lubrication System on Friction Losses // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 92. pp. 771–776.
6. Mohammad Hemmat Esfe, Ali Akbar Abbasian Arani, Saeed Esfandeh. Improving engine oil lubrication in light-duty vehicles by using of dispersing MWCNT and ZnO nanoparticles in 5W50 as viscosity index improvers (VII) // *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 143. pp. 493–506.
7. Shanhong Wan, Yana Xia, Sang T.Pham, Anh Kiet Tieu, HongtaoZhu, Qinglin Li. Unveiling oil-additive/surface hierarchy at real ring-liner contact // *Surfaces and Interfaces*.2019.Vol.15, pp. 1–10.

8. L. Srata, S. Farres, F. Fethi. Engine oil authentication using near infrared spectroscopy and chemometrics methods // *Vibrational Spectroscopy*. 2019. Vol. 100. pp. 99–106.

9. M.F. Sgroi, M. Asti, F. Gili, F.A. Deorsola, S. Bensaid, D. Fino, G. Kraft, I. Garcia, F. Dassenoy. Engine bench and road testing of an engine oil containing MoS<sub>2</sub> particles as nano-additive for friction reduction // *Tribology International*. 2017. Vol. 105. pp. 317–325.

10. B. Tormos, B. Pla, S. Bastidas, L. Ramírez, T. Pérez. Fuel economy optimization from the interaction between engine oil and driving conditions // *Tribology International*. 2019. Vol. 138. pp. 263–270.

11. G. Yadav, S. Tiwari, M.L. Jain. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester // *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5. pp. 248–253.

12. S.I. Shara, E.A. Eissa, J.S. Basta. Polymers additive for improving the flow properties of lubricating oil // *Egyptian Journal of Petroleum*. 2018. Vol. 27. pp. 795–799.

13. Mohamed Kamal Ahmed Ali, Peng Fuming, Hussein A. Younus, Mohamed A.A. Abdelkareem, F.A. Essa, Ahmed Elagouz, Hou Xianjun. Fuel economy in gasoline engines using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> nanomaterials as nanolubricant additives // *Applied Energy*. 2018. Vol. 211. pp. 461–478.

14. J.A. Heredia-Cancino, M. Ramezani, M.E. Álvarez-Ramos. Effect of degradation on tribological performance of engine lubricants at elevated temperatures // *Tribology International*. 2018. Vol. 124. pp. 230–237.

15. G. Kalghatgi. Development of Fuel / Engine Systems – The Way Forward to Sustainable Transport // *Engineering*. 2019. Vol. 5, pp. 510–518.

16. R. Singh Notay, M. Priest, M.F. Fox. The influence of lubricant degradation on measured piston ring film thickness in a fired gasoline reciprocating engine // *Tribology International*. 2019. Vol. 129. pp. 112–123.

17. S. Zzeyani, M. Mikou, J. Naja, A. Elachhab. Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil // *Tribology International*. 2017. Vol. 114. pp. 27–32.

18. M. Repka, N. Dörr, J. Brenner, Ch. Gabler, C. McAleese, O. Ishigo, M. Koshima. Lubricant-surface interactions of polymer-coated engine journal bearings // *Tribology International*. 2017. Vol. 109. pp. 519–528.

19. Mohamed Kamal Ahmed Ali, Hou Xianjun, Liqiang Mai, Chen Bicheng, Richard Fiifi Turkson, Cai Qingping. Reducing frictional power

losses and improving the scuffing resistance in automotive engines using hybrid nanomaterials as nano-lubricant additives // *Wear*. 2016. Vol. 364–365. pp. 270–281.

20. E. Distaso, R. Amirante, G. Calò, P. De Palma, P. Tamburrano, R.D. Reitz. Investigation of Lubricant Oil influence on Ignition of Gasoline-like Fuels by a Detailed Reaction Mechanism // *Energy Procedia*. 2018. Vol. 148. pp. 663–670.

21. K. Sepyani, M. Afrand, Mohammad Hemmat Esfe. An experimental evaluation of the effect of ZnO nanoparticles on the rheological behavior of engine oil // *Journal of Molecular Liquids*. 2017. Volume 236. pp. 198–204.

22. S. Ebnesajjad, R. Morgan. Applications of Fluorinated Additives for Lubricants // In *Plastics Design Library: Fluoropolymer Additives (Second Edition)*; William Andrew Publishing. 2019. pp. 75–119.

**Поступила 27.06.2018, принята к публикации 27.08.2019.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Мачехин Николай Юрьевич* – доц. кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники» Омского автобронетанкового инженерного института; <https://orcid.org/0000-0003-3779-437X>.

*Ширлин Иван Иванович* – канд. техн. наук, главный специалист отдела испытаний и технических сервисов для автомобильной и специализированной техники ООО «Газпромнефть – смазочные материалы»; <https://orcid.org/0000-0002-1356-5073>.

*Пашукевич София Вячеславовна* – магистрант группы ХТМ – 183, кафедра «Химическая технология», ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г. Омск, пр. Мира, 11), инженер НИО ФГБОУ ВО «СибАДИ». (E-mail: [sofia96@bk.ru](mailto:sofia96@bk.ru)). <https://orcid.org/0000-0002-8111-4725>.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Nikolay Yu. Machekhin* – Associate Professor of the Repair of Armored and Automotive Vehicles Department, Omsk Automobile and Armored Engineering Institute.

*Ivan I. Shirlin* – Candidate of Technical Sciences, Chief Specialist of the Department of

*Testing and Technical Services for Automotive and Specialized Equipment, Gazpromneft – Lubricants.*

*Sofia V. Pashukevich – Master Student, Chemical Technology Department, Omsk State Technical University, Engineer of the Research Institute in the Siberian State Automobile and Highway University (644050, Omsk, 11, Mira Ave.).*

**ВКЛАД СОАВТОРОВ**

*Мачехин Николай Юрьевич – 30%*

*Ширлин Иван Иванович – 20%*

*Пашукевич София Вячеславовна – 20%*

**AUTHORS' CONTRIBUTION**

*Nikolay Yu. Machekhin – 30%*

*Ivan I. Shirlin – 20%*

*Sofia V. Pashukevich – 20%*